

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALLAN GOMES

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE UM SENSOR GNSS DE DUPLA  
FREQUÊNCIA PRESENTE EM UM *SMARTPHONE* SOB DIFERENTES CENÁRIOS  
E MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

CURITIBA

2019

ALLAN GOMES

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE UM SENSOR GNSS DE DUPLA  
FREQUÊNCIA PRESENTE EM UM *SMARTPHONE* SOB DIFERENTES CENÁRIOS  
E MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Claudia Pereira Krueger.

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

G633a

Gomes, Allan

Avaliação da qualidade posicional de um sensor GNSS de dupla frequência presente em um smartphone sob diferentes cenários e métodos de posicionamento [recurso eletrônico] /Allan Gomes. – Curitiba, 2019.

Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2019.

Orientadora: Claudia Pereira Krueger.

1. Smartphones. 2. Android (Recurso eletrônico). 3. Sistemas operacionais (Computadores). 4. Sistema de Posicionamento Global. I. Universidade Federal do Paraná. II. Krueger, Claudia Pereira. III. Título.

CDD: 526.8

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS  
GEODÉSICAS - 40001016002P6

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ALLAN GOMES** intitulada: **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE UM SENSOR GNSS DE DUPLA FREQUÊNCIA PRESENTE EM UM SMARTPHONE SOB DIFERENTES CENÁRIOS E MÉTODOS DE POSICIONAMENTO**, sob orientação da Profa. Dra. **CLAUDIA PEREIRA KRUEGER**, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Julho de 2019.



CLAUDIA PEREIRA KRUEGER

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



LUÍS AUGUSTO KOENIG VEIGA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO)



Dedico este trabalho à minha família, em especial, a minha avó Ofélia que continua me abençoando com suas orações em outro plano.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à Universidade Federal do Paraná que me possibilitou a permanência na instituição graças aos diversos auxílios proporcionados durante a graduação. Sou exemplo claro de um aluno carente socioeconomicamente que teve a oportunidade de estudar em uma das instituições mais importantes do mundo, podendo desenvolver um trabalho de qualidade e excelência.

Ao CNPQ, pelo auxílio financeiro.

Aos colegas e amigos do LAGEH.

À minha professora Claudia Pereira Krueger pelos ensinamentos e por ter confiado no potencial desta pesquisa.

À minha família que foi compreensiva durante todos os anos que dediquei-me a minha carreira profissional.

A todos que de alguma forma contribuíram com meu crescimento profissional, pessoal e principalmente mental.

Aos desafios.

“Não devemos ter medo das novas ideias! Elas podem significar a diferença entre o triunfo e o fracasso”.

**Napoleon Hill**

## RESUMO

A partir da nova Interface de Programação Aplicada implementada nos sistemas operacionais Android, tornou-se possível realizar o acesso aos dados GNSS brutos provenientes de sensores GNSS presentes em determinados *smartphones* e *tablets* que utilizam a plataforma Android Nougat e sucessores. Diante deste contexto inovador, surgiram determinados aplicativos voltados ao posicionamento de acurácia. Estes aplicativos permitem armazenar os dados em arquivos em formato universal RINEX, tornando possível realizar o pós-processamento e, conseqüentemente, a possível melhora na acurácia posicional obtida pelo dispositivo móvel. Dentre as inovações tecnológicas existentes no contexto do posicionamento via *smartphones*, cita-se a utilização de sensores GNSS modernos, tal como o sensor inserido no *smartphone* Xiaomi Mi 8, esse foi o primeiro *smartphone* no mundo a integrar um sensor GNSS de dupla frequência capaz de coletar informações provenientes de múltiplas constelações (ex.:GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou e QZSS) e múltiplas frequências (ex.: L1/L5, B1, E1/E5). Nesta pesquisa, foram estabelecidos diferentes cenários com o intuito de avaliar a qualidade das coordenadas geodésicas obtidas a partir dos dados coletados pelo Mi 8. Mediante a utilização de aplicativos gratuitos que armazenam os dados brutos em arquivos no formato RINEX, foram realizadas diversas campanhas de coleta de dados, os quais posteriormente, foram pós-processados a partir de diferentes métodos de posicionamento e mediante o emprego de diferentes *softwares*, incluindo o serviço gratuito IBGE-PPP. Os resultados desta pesquisa mostram que é possível obter coordenadas geodésicas com acurácia da ordem decimétrica mediante o pós-processamento dos dados em modo estático. No entanto, em coletas realizadas em modo cinemático, as coordenadas geodésicas foram obtidas com acurácia métrica.

Palavras-chave: *Smartphone*. GNSS. Acurácia. Posicionamento. Android.

## **ABSTRACT**

From the new application programming interface implemented in Android operating systems, it has become possible to access raw GNSS data from GNSS sensors present on certain smartphones and tablets that use the Nougat Android platform and successors. Given this innovative context, certain applications emerged aimed at positioning accuracy. These applications allow storing the data in files in universal format RINEX, making it possible to perform post-processing and, consequently, the possible improvement in positional accuracy obtained by the mobile device. Among the technological innovations in the context of positioning via smartphones, we cite the use of modern GNSS sensors, such as the sensor inserted in the Xiaomi Mi 8 smartphone, this was the first smartphone in the world to integrate a GNSS sensor Dual frequency capable of gathering information from multiple constellations (e.g.: GPS, GLONARSE, Galileo, BeiDou and QZSS) and multiple frequencies (e.g. L1/L5, B1, E1/E5). In this study, different scenarios were established in order to evaluate the quality of geodetic coordinates obtained from the data collected by Mi 8. Through the use of free applications that store the raw data in files in the RINEX format, several data collection campaigns were performed, which subsequently were post-processed from different positioning methods and Through the use of different software, including the free IBGE-PPP service. The results of this research show that it is possible to obtain geodetic coordinates with accuracy of the decimetric order through the post-processing of data in static mode. However, in collections performed in kinematic mode, geodetic coordinates were obtained with metric accuracy.

Keywords: Smartphone. GNSS. Accuracy. Positioning. Android.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ALGUNS DOS SENSORES PRESENTES NO <i>SMARTPHONE</i> MI 8.....	22
FIGURA 2 – ARQUITETURA DE ACESSO AOS DADOS GNSS EM <i>SMARTPHONES</i> COM SISTEMA OPERACIONAL ANDROID. ....	23
FIGURA 3 – FREQUÊNCIAS GNSS NA BANDA L (MHz) .....	28
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO.....	30
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA LIMITAÇÃO DO GNSS EM AMBIENTES URBANOS .....	39
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA AGNSS .....	42
FIGURA 7 – MEIOS DE OBTENÇÃO DE DADOS PVT NO <i>SMARTPHONE</i> XIAOMI MI 8 .....	43
FIGURA 8 - FUNÇÃO CAG DISPONÍVEL NO MI 8. ....	45
FIGURA 9 - CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO – UFPR .....	47
FIGURA 10 - CENÁRIOS 1 E 2 LOCALIZADOS SOBRE O LABORATÓRIO CAMIL GEMAEI .....	48
FIGURA 11 – VISÃO PANORÂMICA DA PISTA DE ATLETISMO DA UFPR.....	48
FIGURA 12 - PARTE DO ARQUIVO GNSSLOGGER OBTIDO A PARTIR DO MI 8	51
FIGURA 13 – FUNÇÃO AGNSS PRESENTE NO APLICATIVO GNSSLOGGER ....	52
FIGURA 14 - PLATAFORMA EULERIANA DESENVOLVIDA. ....	53
FIGURA 15 - POSIÇÃO DO MI 8 SOBRE A BASE SUPERIOR DO PILAR 2000 DURANTE OS TESTES PRELIMINARES. ....	54
FIGURA 16 – VISÃO INTERNA DO MI 8 DE MESMO MODELO UTILIZADO NESTA PESQUISA.....	54
FIGURA 17 – ORIENTAÇÃO DOS VÉRTICES DE APOIO POSICIONADOS SOBRE A BASE SUPERIOR DO PILAR 2000 .....	55
FIGURA 18 - MI 8 POSICIONADO SOBRE A HASTE EM RELAÇÃO AOS VÉRTICES .....	56
FIGURA 19 - POSIÇÃO DO MI 8 SOBRE A HASTE EM RELAÇÃO A ORIGEM DAS COORDENADAS DE REFERÊNCIA. ....	56
FIGURA 20 - COLETA DE DADOS SOBRE O CENÁRIO 2 .....	58
FIGURA 21 - COLETA DE DADOS SOBRE A PISTA DE ATLETISMO .....	59
FIGURA 22 - MI 8 E RECEPTOR GEODÉSICO POSICIONADOS SOBRE A HASTE .....	60

FIGURA 23 - AQUISIÇÃO DE DADOS REFERENTE A VARIAÇÕES DE NÍVEL DA MASSA D'ÁGUA NA BAÍA DE ANTONINA-PR .....	62
FIGURA 24 - EQUIPAMENTOS POSICIONADOS SOBRE A PLATAFORMA EULERIANA DESENVOLVIDA NA BAÍA DE ANTONINA .....	62
FIGURA 25 - MENSAGEM DE ALERTA DE SUPERAQUECIMENTO EMITIDA PELO MI 8.....	63
FIGURA 26 - AVISO EMITIDO PELO APLICATIVO <i>GEO++ RINEX LOGGER</i> REFERENTE A DESATIVAÇÃO DO SENSOR GNSS .....	63
FIGURA 27 - CARACTERÍSTICAS DO PROCESSAMENTO GERAL "15" REALIZADO A PARTIR DO SOFTWARE RTKLIB (VERSÃO 2.4.2) .	66
FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS COORDENADAS NORTE E ESTE REFERENTE -AOS TESTES PRELIMINARES .....	71
FIGURA 29 – DESCONTINUIDADES NOS SINAIS RASTREADOS DURANTE O LEVANTAMENTO 2 – CENÁRIO 1.....	74
FIGURA 30 – RESÍDUOS DA DUPLA DIFERENÇA DO CÓDIGO L1/B1/E1 GERADOS NO PROCESSAMENTO 8 (LEVANTAMENTO 2) – CENÁRIO 1.....	75
FIGURA 31 - RESÍDUOS DA DUPLA DIFERENÇA DO CÓDIGO L5/E5a GERADOS NO PROCESSAMENTO 8 (LEVANTAMENTO 2) – CENÁRIO 1 .....	75
FIGURA 32 - RESUMO DO PROCESSAMENTO REALIZADO PELO SERVIÇO IBGE-PPP (GPS+GLONASS) – VARIAÇÃO NA ALTURA DO RECEPTOR HIPER SR .....	86
FIGURA 33 - RESUMO DO PROCESSAMENTO REALIZADO A PARTIR DO IBGE- PPP - CAMPANHA COM 12 HORAS DE DURAÇÃO REALIZADA SOBRE O PILAR 2000 .....	94
FIGURA 34 – RUÍDOS NOS SINAIS RASTREADOS PELO APLICATIVO RINEX ON .....	97
FIGURA 35 - INTERRUPÇÕES NOS SINAIS RASTREADOS A PARTIR DOS APLICATIVOS GEO ++ E RINEX ON.....	98
FIGURA 36 - TRAJETÓRIAS OBTIDAS A PARTIR DA CAMPANHA GERAL C ....	102
FIGURA 37 - TRAJETÓRIAS OBTIDAS A PARTIR DA CAMPANHA GERAL D ....	103
FIGURA 38 - TRAJETÓRIAS OBTIDAS A PARTIR DA CAMPANHA GERAL E ....	104
FIGURA 39 – TODAS AS 9 CAMPANHAS REALIZADAS COM O APLICATIVO GPS LOGGER PRO SOBRE A PISTA DE ATLETISMO DA UFPR .....	107

FIGURA 40 - TRAJETÓRIA COM OBSTRUÇÕES PARCIAIS NAS IMEDIAÇÕES	108
FIGURA 41 - TRAJETÓRIA EM AMBIENTE LIVRE DE OBSTRUÇÕES .....	109

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - NÚMERO DE SATÉLITES GNSS EM OPERAÇÃO ENTRE OS ANOS 2000 E 2017 .....	27
GRÁFICO 2 – BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DO GPS NO SETOR PRIVADO .....	36
GRÁFICO 3 - CAPACIDADE DE RASTREIO DOS RECEPTORES GNSS FRENTE ALGUMAS CONSTELAÇÕES .....	37
GRÁFICO 4 - NÚMERO DE CONSTELAÇÕES SUPOSTAS PELOS RECEPTORES GNSS .....	38
GRÁFICO 5 – PERCENTUAL DE CAPACIDADE DOS RECEPTORES EM PROCESSAR DETERMINADAS FREQUÊNCIAS .....	38
GRÁFICO 6 – UNIDADES GNSS EMPREGADAS NOS SEGMENTOS SBL, ROAD E PROFESSIONAL EM DETERMINADOS SEGMENTOS .....	41
GRÁFICO 7 – ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS A PARTIR DO SERVIÇO IBGE-PPP - RECEPTOR GEODÉSICO HIPER SR .....	85
GRÁFICO 8 - ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS A PARTIR DO IBGE-PPP - CAMPANHA 1 .....	87
GRÁFICO 9 – ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS A PARTIR DO IBGE-PPP - CAMPANHA 2 .....	88
GRÁFICO 10 - ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS A PARTIR DO IBGE-PPP - CAMPANHA 3 .....	88
GRÁFICO 11 – VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO MI 8 DURANTE A CAMPANHA 1 .....	89
GRÁFICO 12 - VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO MI 8 DURANTE A CAMPANHA 2 .....	89
GRÁFICO 13 - VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO MI 8 DURANTE A CAMPANHA 3 .....	90
GRÁFICO 14 - ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE – CAMPANHA 1 .....	91
GRÁFICO 15 - ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE – CAMPANHA 2 .....	91
GRÁFICO 16 - ALTITUDES ELIPSOIDAIAS OBTIDAS A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE – CAMPANHA 3 .....	91

GRÁFICO 17 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DETERMINADAS EM MODO ESTÁTICO ( <i>SMARTPHONE</i> IMÓVEL) E PROCESSADAS EM MODO CINEMÁTICO PELO SERVIÇO IBGE-PPP .....	93
GRÁFICO 18 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS REFERENTE ÀS 4 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS .....	93
GRÁFICO 19 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS REFERENTE ÀS 2 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS .....	94
GRÁFICO 20 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS FILTRADAS REFERENTE Á CAMPANHA COM 12 HORAS - REGRA DOS TRÊS SIGMAS .....	95
GRÁFICO 21 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS FILTRADAS REFERENTE ÀS 4 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS - REGRA DOS TRÊS SIGMAS .....	95
GRÁFICO 22 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS FILTRADAS REFERENTE ÀS 2 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS - REGRA DOS TRÊS SIGMAS .....	96
GRÁFICO 23 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE DADOS IGUAL A 15 SEGUNDOS .....	99
GRÁFICO 24 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE DADOS IGUAL A 30 SEGUNDOS .....	99
GRÁFICO 25 - ALTITUDES ELIPSOIDAIIS OBTIDAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE DADOS IGUAL A 60 SEGUNDOS .....	100
GRÁFICO 26 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS NORTE E ESTE REFERENTE A CAMPANHA D2 .....	105
GRÁFICO 27 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS NORTE E ESTE REFERENTE A CAMPANHA D2 – REGRA DOS TRÊS SIGMAS ..	105



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DO GPS PARA O SETOR PRIVADO ENTRE 1984 E 2017 E A ESTIMATIVA DE PERDAS EM 30 DIAS DE INTERRUPÇÃO DO SISTEMA NOS EUA.....	35
TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO DE ALGUMAS VERSÕES ANDROID .....	44
TABELA 3 – CENÁRIOS E SUAS CARACTERÍSTICAS EMPREGADAS NESTA PESQUISA.....	46
TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DO <i>SMARTPHONE</i> XIAOMI MI 8 UTILIZADO DURANTE A PESQUISA .....	49
TABELA 5 – RECEPTOR GEODÉSICO UTILIZADO COMO APOIO .....	50
TABELA 6 – APLICATIVOS ( <i>APPS</i> ) SELECIONADOS NA PLATAFORMA GOOGLE PLAY STORE.....	51
TABELA 7 – CARACTERÍSTICAS DAS CAMPANHAS DE COLETA DE DADOS REALIZADAS SOBRE O CENÁRIO 1 .....	57
TABELA 8 - CAMPANHAS DE COLETA DE DADOS SOBRE O CENÁRIO 1 .....	57
TABELA 9 – VARIAÇÕES INTRODUZIDAS NA ALTURA DA ANTENA .....	58
TABELA 10 – CAMPANHAS REALIZADAS NO CENÁRIO 2 .....	59
TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS REFERENTES ÀS COLETAS DE DADOS REALIZADAS NO CENÁRIO 3 .....	60
TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS REFERENTES ÀS COLETAS DE DADOS REALIZADAS NO CENÁRIO 3 .....	61
TABELA 13 – CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSAMENTOS REFERENTE AOS TESTES PRELIMINARES EMPREGANDO O SERVIÇO ONLINE IBGE-PPP .....	64
TABELA 14 – CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSAMENTOS REALIZADOS NO CENÁRIO 1.....	65
TABELA 15 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS VÉRTICES DE INTERESSE (SIRGAS2000 – ÉPOCA 2000.4).....	70
TABELA 16 – COORDENADAS GEODÉSICAS REFERENTE AOS TESTES PRELIMINARES OBTIDAS ATRAVÉS DO SERVIÇO IBGE-PPP (SIRGAS2000 – ÉPOCA 2000.4).....	71

TABELA 17 – DISCREPÂNCIAS ENTRE AS COORDENADAS GEODÉSICAS DE REFERÊNCIA E AS CALCULADAS PELO SERVIÇO IBGE-PPP REFERENTE AOS TESTES PRELIMINARES. ....	72
TABELA 18 – ANÁLISE DA ACURÁCIA REFERENTE ÀS CAMPANHAS COM 3 E 4 HORAS DE DURAÇÃO - TESTES PRELIMINARES.....	73
TABELA 19 – NÚMERO DE SALTOS DE CICLOS GERADOS NO PROCESSAMENTO 8 .....	76
TABELA 20 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA A PARTIR DO PROCESSAMENTO REALIZADO PELO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO - CENÁRIO 1.....	76
TABELA 21 – ACURÁCIA POSICIONAL ENTRE OS PROCESSAMENTOS 7 E 9..	79
TABELA 22 – ACURÁCIA POSICIONAL ENTRE OS PROCESSAMENTOS 2 8 E 10 .....	80
TABELA 23 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA A PARTIR DO PROCESSAMENTO PELO MÉTODO PPP - CENÁRIO 1 .....	81
TABELA 24 – COORDENADAS OBTIDAS ATRAVÉS DO SERVIÇO IBGE-PPP (SIRGAS2000 – ÉPOCA 2000.4) – PROCESSAMENTO GERAL 16. ....	83
TABELA 25 – ACURÁCIA OBTIDA SOBRE O CENÁRIO 1 – PROCESSAMENTO GERAL 16 .....	84
TABELA 26 – ACURÁCIA OBTIDA PELO RECEPTOR GEODÉSICO FRENTE ÀS VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTURA DA ANTENA – CENÁRIO 2.....	87
TABELA 27 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA PELO MI 8 A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE - CENÁRIO 2.....	92
TABELA 28 – ACURÁCIA DA ALTITUDE ELIPSOIDAL OBTIDA A PARTIR DO IBGE-PPP REFERENTE A 12 HORAS DE COLETA DE DADOS EM MODO CINEMÁTICO .....	96
TABELA 29 – ACURÁCIA OBTIDA PELO MI 8 EM MODO CINEMÁTICO FRENTE A DIFERENTES INTERVALOS DE GRAVAÇÃO DE DADOS.....	100
TABELA 30 - CARACTERÍSTICAS REFERENTE ÀS COLETAS DE DADOS REALIZADAS NO CENÁRIO 3 .....	101
TABELA 31 – ACURÁCIA OBTIDA REFERENTE A CAMPANHA D2 - COM E SEM A REGRA DOS TRÊS SIGMAS.....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

4G	- Quarta Geração de Telefonia Móvel
5G	- Quinta Geração de Telefonia Móvel
AGNSS	- GNSS Assistido
AGPS	- GPS Assistido
APP	- Aplicativo
API	- Application Programming Interface
C/A	- Course acquisition
$C/N_0$	- Carrier to Noise Power Density Ratio
CSRS-PPP	- GPS Precise Point Positioning
DOP	- Dilution of Precision
GB	- Gigabyte
GEO	- Geoestacionário
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GLONASS	- Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema
GPS	- Global Positioning System
GSA	- European GNSS Agency
GSO	- Geossíncrona
SBAS	- Satellite-based Augmentation Systems
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	- International GNSS Service
ITRF	- International Terrestrial Reference Frame
NAVSTAR	- Navigation System with Time And Ranging
NMEA	- National Marine Electronics Association
PDF	- Portable Document Format
PNT	- Posicionamento navegação e tempo
PP	- Posicionamento por ponto
PPP	- Posicionamento por ponto preciso
PVC	- Policloreto de Vinila
PVT	- Posicionamento velocidade e tempo
QZSS	- Quasi-Zenith Satellite System
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX	- Receiver Independent Exchange Format

SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SBL	- Serviços Baseados em Localização
SO	- Sistema operacional
TTFF	- Time To First Fix
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UTM	- Universal Transversal Mercator
WGS-84	- World Geodetic System 84
NRCan	- Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	25
1.2 OBJETIVOS .....	26
1.2.1 Objetivo geral .....	26
1.2.2 Objetivos específicos.....	26
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>27</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS DO GNSS .....	27
2.1.1 Observáveis .....	28
2.1.2 Erros inerentes ao posicionamento .....	30
2.2 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	32
2.2.1 Posicionamento Absoluto ou Por Ponto .....	32
2.2.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) .....	33
2.2.2 Posicionamento Relativo .....	34
2.3 GNSS NA ATUALIDADE.....	35
2.3.1 GNSS no cenário Econômico.....	35
2.3.2 Constelações e Frequências .....	36
2.3.3 Serviços Baseados em Localização (SBL).....	40
2.3.4 GNSS Assistido (AGNSS) .....	42
2.3.5 Plataforma Android e dados GNSS .....	43
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	46
3.2 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	49
3.3 SOFTWARES.....	50
3.3.1 Aplicativos ( <i>apps</i> ) .....	50
3.4 PLATAFORMA EULERIANA DESENVOLVIDA .....	52
3.5 COLETA DE DADOS .....	53
3.5.1 Teste preliminar .....	53
3.5.2 Coleta de Dados - Cenário 1 .....	55
3.5.3 Coleta de Dados - Cenário 2 .....	58
3.5.4 Coleta de Dados - Cenário 3 .....	59
3.5.5 Coleta de Dados - Cenário 4 .....	61
3.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	64



3.6.1 Processamento dos dados – Testes preliminares .....	64
3.6.2 Processamento dos dados - Cenário 1 .....	64
3.6.3 Processamento dos dados – Cenário 2.....	66
3.6.4 Processamento dos dados – Cenário 3.....	67
3.7 PRÉ-ANÁLISE – SISTEMA DE REFERÊNCIA .....	67
3.8 MODELOS MATEMÁTICOS .....	68
<b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
4.1 COORDENADAS GEODÉSICAS DE REFERÊNCIA DOS VÉRTICES DE INTERESSE .....	70
4.2 DISCREPÂNCIAS PLANIALTIMÉTRICAS – TESTES PRELIMINARES .....	70
4.3 ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA NO CENÁRIO 1 .....	73
4.3.1 Resultados obtidos a partir do método de posicionamento relativo estático ....	73
4.3.2 Resultados obtidos a partir do método PPP – Cenário 1 .....	81
4.4 ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA NO CENÁRIO 2 .....	85
4.4.1 Resultados obtidos a partir do método PPP – Cenário 2 .....	85
4.4.1.1 Variações provocadas na altura da antena do receptor geodésico .....	85
4.4.1.2 Variações provocadas na altura do Mi 8.....	87
4.4.1.3 IBGE-PPP - Modo Cinemático.....	92
4.4.2 Resultados obtidos a partir do método de posicionamento relativo cinemático – Cenário 2.....	97
4.4.2.1 Resultados obtidos mediante diferentes intervalos de gravação de dados ..	99
4.5 RESULTADOS OBTIDOS NO CENÁRIO 3 .....	101
4.5.1 Trajetória Descrita pelo aplicativo <i>GPS Logger Pro</i> .....	106
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>110</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	111
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO 1 – EXTRATO DO ARQUIVO RINEX GERADO PELO APP GEO ++ A PARTIR DO SMARTPHONE MI 8 .....</b>	<b>117</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Embora os conceitos e as potencialidades relacionados ao Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) estejam consolidados, principalmente em pesquisas relacionadas às geociências, houve transformações significativas ao longo dos anos no que concerne a maneira com a qual esta forma de posicionamento se insere nas mais diversas áreas da sociedade moderna.

As inovações tecnológicas relacionadas à temática contribuíram com o surgimento de novas aplicações e o estabelecimento de novas integrações entre sistemas, cita-se como exemplo, os Serviços Baseados em Localização (SBL), que utilizam informações PVT (Posição, Velocidade e Tempo) e/ou PNT (Posição, Navegação e Tempo) provenientes, principalmente, do GNSS GSA (2018a).

Segundo a Agência Europeia de GNSS (GSA – *European GNSS Agency*), o futuro das tecnologias espaciais depende de duas tendências: integração e fusão. As novas tendências tecnológicas estão alimentando a quarta revolução industrial, caracterizada pela integração e fusão de distintas tecnologias e infraestruturas espaciais e terrestres; e uma nova representação aperfeiçoada do meio físico GSA (2018b).

A popularização do GNSS resultou no emprego cada vez mais crescente de sensores GNSS em grande parte de objetos utilizados no dia a dia, destes, pode-se citar os dispositivos móveis que possuem sistemas operacionais, tais como telefones celulares (*smartphones*), relógios (*smartwatches*), *tablets*, dentre outros DiMarzio (2017).

De acordo com a GSA (2017a), aproximadamente 5,8 bilhões de dispositivos GNSS estavam ativos em 2017, estima-se que em 2020 este número se aproxime de 8 bilhões de dispositivos, porém, é interessante observar que cerca de 80% destes sensores estavam inseridos em *smartphones*.

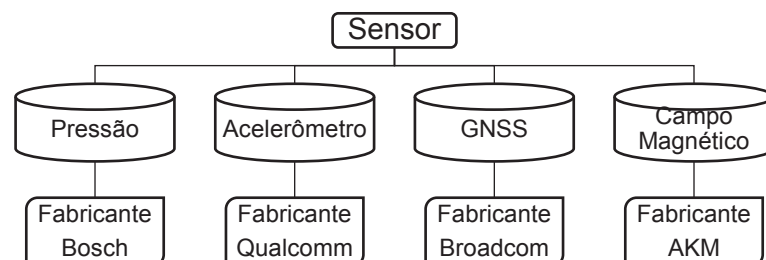
O posicionamento a partir de *smartphones*, pode ser realizado utilizando sensores GNSS, sistemas GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis) e através de uma rede de área local (em inglês: *local area network* - LAN) Heuberger et al. (2011). Contudo, quando se trata da qualidade posicional obtida pelos *smartphones*, usualmente, se obtém acurácias da ordem de 2 a 3 m em condições ideais (ex.: áreas livres de obstruções), enquanto que nos piores cenários o erro pode ser superior a 10 m Pesyna et al. (2014).

Segundo REALINI et al., (2017), um dos fatores pelo qual a acurácia posicional obtida a partir de *smartphones* é limitada, diz respeito ao fato das soluções serem computadas internamente pelo módulo GNSS, isto é, nesse processo não são gerados arquivos de saída com dados GNSS brutos.

Para se obter coordenadas geodésicas acuradas, com qualidade melhor que 1 m, usualmente são utilizados receptores geodésicos, porém, estes equipamentos possuem custo elevado quando comparados a receptores de navegação e/ou sistemas de baixo custo, os quais podem realizar integrações entre diversos sensores de modo a obter soluções mais acuradas. Neste âmbito, os *smartphones* modernos se destacam por reunirem diversos sensores em um único dispositivo Heuberger et al. (2011), Dabove et al. (2017), Ceccato et al. (2018), Miralles et al. (2018).

A FIGURA 1 ilustra alguns sensores presentes no *smartphone* Xiaomi Mi 8, as informações foram obtidas a partir de um aplicativo (*app*) denominado *Sensors Toolbox* instalado no Mi 8.

FIGURA 1 – ALGUNS DOS SENSORES PRESENTES NO SMARTPHONE MI 8



FONTE: O autor (2019).

Segundo DABOVE, PIETRA e LINGUA (2017), um dos maiores problemas no que tange a integração entre sensores está relacionado ao sistema operacional (SO) instalado no *smartphone*, pois cada SO tem diferentes maneiras de gerenciar dados provenientes dos sensores internos.

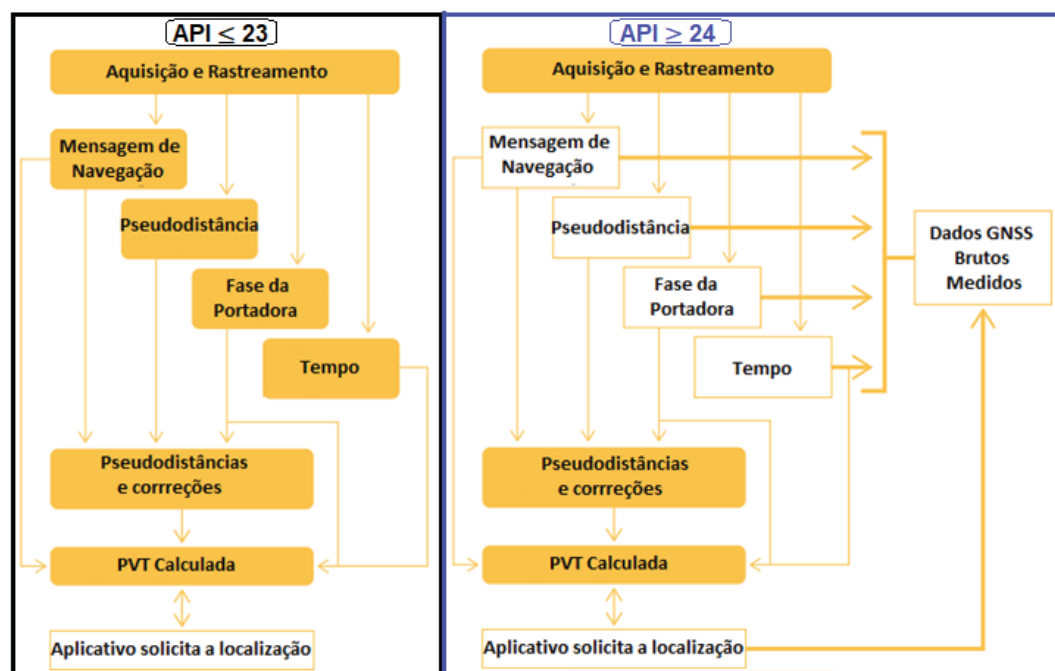
Dentre os SO móveis (plataformas) desenvolvidos para dispositivos móveis, as plataformas Android e iOS (*Iphone Operating System* - APPLE) representam, aproximadamente 87% e 13% do mercado mundial, respectivamente IDC (2019). Entretanto, no que concerne o acesso aos dados GNSS, estas plataformas são consideradas “caixas pretas”, limitando, portanto, a integração entre os sensores e o desenvolvimento de softwares/algoritmos, popularmente conhecidos como

“aplicativos” (*apps*), em consequência da restrição destes dados devido a API utilizada Banville; Diggelen (2016), Humphreys et al. (2016), Miralles et al. (2018).

Em maio de 2016, durante a conferência *Google I/O*, a empresa Google anunciou a possibilidade de acesso aos dados GNSS brutos coletados por *smartphones* e *tablets* através da plataforma Android N (“Nougat” = versão 7) Malkos (2016). Assim, em agosto de 2016, com o lançamento oficial da plataforma Nougat, uma nova era no contexto do posicionamento e navegação a partir de *smartphones* surgiu, ampliando as possibilidades de pesquisas relacionadas à temática, bem como a possibilidade de desenvolvimento de *apps* voltados ao posicionamento de alta acurácia.

Através de uma nova Interface de Programação de Aplicativos (*Application Programming Interface* - API) implementada no Android 7 (API nível 24) e em seus sucessores, torna-se possível acessar os dados GNSS brutos, tais como, as informações utilizadas no cálculo das pseudodistâncias, mensagens de navegação, informações dos relógios dos satélites, fase da onda portadora, dentre outras (FIGURA 2) GSA (2017b).

FIGURA 2 – ARQUITETURA DE ACESSO AOS DADOS GNSS EM *SMARTPHONES* COM SISTEMA OPERACIONAL ANDROID.



FONTE: Adaptado de GSA (2017b).

Portanto, pode-se dizer que a metodologia de aquisição de dados GNSS a partir da plataforma Android, divide-se atualmente em: método clássico ( $API \leq 23$ ) e método moderno ( $API \geq 24$ ).

Ao observar o grande potencial desta metodologia inovadora, a comunidade científica e empresas do ramo das geociências, desenvolveram determinados aplicativos baseados na API moderna. A empresa Google disponibilizou gratuitamente o primeiro aplicativo, denominado *Gnss Logger*, o qual possibilita armazenar os dados GNSS brutos em um formato específico, proporcionando a análise destes dados no software *GNSS Analysis app*, desenvolvido pela própria empresa Diggelen; Khider (2018).

Dentre as principais funções presentes nos aplicativos desenvolvidos até o momento, cita-se a obtenção de soluções PVT, o armazenamento dos dados em arquivos no formato NMEA (*National Marine Electronics Association*) e também no formato compatível com o software de análise desenvolvido pela Google. No entanto, em agosto de 2017 a empresa Geo++ lançou o aplicativo *Geo ++ RINEX Logger*, compatível com a metodologia moderna, capaz de converter os dados GNSS brutos em arquivos no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) Geo++ (2017).

Dentre as pesquisas relacionadas à temática, cita-se a pesquisa desenvolvida por REALINI et al., (2017). Os autores demonstraram ser possível obter precisão com nível decimétrico (sem resolução de ambiguidade) com um *tablet*, mediante o pós-processamento de dados obtidos a partir de levantamentos realizados pelo método relativo estático rápido (com linha de base de até 8 km).

Diante das considerações anteriormente mencionadas, observa-se que os sensores GNSS presentes nos dispositivos móveis são amplamente utilizados em aplicações que empregam dados PVT, não obstante, nota-se que há uma demanda crescente pelo aumento da acurácia posicional obtida a partir destes dispositivos, principalmente pelos *smartphones*, neste cenário, define-se o problema desta pesquisa: pode-se obter coordenadas geodésicas com acurácia melhor que 1 metro a partir de um *smartphone*?

Assim, configura-se a seguinte hipótese de solução para o problema: Se, atualmente é possível acessar os dados GNSS brutos a partir de determinados *smartphones* que utilizam a plataforma Android, e há aplicativos que coletam e



armazenam estes dados, então, mediante o pós-processamento destes dados pode-se obter coordenadas geodésicas com alta acurácia.

Uma possível ferramenta para a solução do problema apresentado, consiste na utilização de *smartphones* que possuam sensores GNSS modernos, tal como o sensor BCM47755s, presente no *smartphone* Xiaomi Mi 8. Lançado em maio de 2018, o Mi 8 foi o primeiro *smartphone* no mundo a integrar um sensor GNSS de dupla frequência, capaz de coletar dados de múltiplas constelações (GPS, GLONASS, Galileo, QZSS e BeiDou) e múltiplas frequências (L1, E1, L5 e E5) BROADCOM (2018).

Portanto, nesta pesquisa buscou-se avaliar a qualidade posicional do Mi 8, empregando-o em campanhas de coleta de dados sob diferentes cenários. A partir dos arquivos RINEX obtidos por meio de aplicativos, foi possível realizar o pós-processamento dos dados através de diferentes *softwares* e a partir do serviço online gratuito IBGE-PPP.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com a crescente expansão do mercado global no que tange o emprego de sensores GNSS, se faz necessário desenvolver estratégias que permitam investigar e avaliar as inovações tecnológicas e as ferramentas modernas disponíveis nos dias de hoje, visando, sobretudo, a redução de custos sem que a qualidade da informação seja comprometida. Portanto, esta pesquisa busca introduzir ao cenário nacional as potencialidades de uma ferramenta inovadora no âmbito do posicionamento GNSS a partir de *smartphones*.

Além do âmbito acadêmico, esta pesquisa reveste-se de importância para diversas áreas e setores, tais como, empresas, mercado, governos e a sociedade como um todo, elevando a competitividade do mercado por soluções acuradas, consistentes, confiáveis e principalmente, de baixo custo.

Um dos fatores que justifica esta pesquisa, diz respeito à possibilidade de contornar a necessidade do uso de receptores de alto custo na aquisição de coordenadas geodésicas com alta acurácia. Além disso, buscou-se utilizar *softwares* e serviços gratuitos, tal como o serviço online IBGE-PPP enfatizando, portanto, o conceito de baixo custo ao usuário.

Outra questão relevante que fundamenta esta pesquisa, concerne na possibilidade de utilizar *smartphones* na aquisição de dados voltados ao monitoramento e gestão de massas d'água, como em reservatórios e rios. Muito embora já existam tecnologias avançadas, métodos e equipamentos, usualmente, estes, apresentam ou podem apresentar alto custo, seja na aquisição de dados ou na manutenção de pessoal e equipamentos.

Outra contribuição que ampara esta pesquisa, consiste no estabelecimento de parcerias internacionais junto ao grupo de pesquisa *GNSS Raw Measurements Task Force*, criado em junho de 2017 pela GSA e que busca avaliar as potencialidades desta ferramenta moderna de aquisição de dados a partir de dispositivos móveis com SO Android.

## 1.2 OBJETIVOS

Tem-se como objetivos desta pesquisa os subitens apresentados na sequência.

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade posicional obtida a partir de dados GNSS brutos coletados por um *smartphone* com sensor GNSS de dupla frequência.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) Analisar e avaliar a capacidade do emprego de múltiplas constelações e múltiplas frequências no posicionamento a partir de *smartphones*;
- b) Obter coordenadas geodésicas com acurácia melhor que 1 metro a partir de um *smartphone* com sensor GNSS de dupla frequência.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

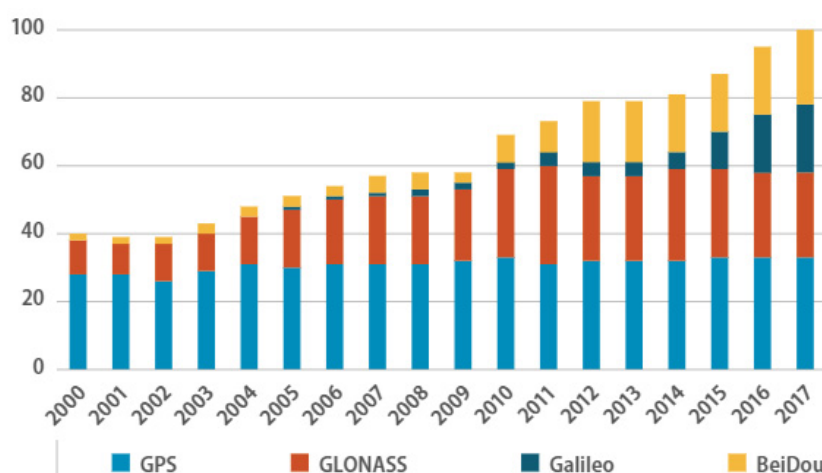
Nesta seção serão apresentados alguns tópicos essenciais para a compreensão do desenvolvimento desta pesquisa e da metodologia empregada para a solução do problema. Ainda, serão abordadas as principais tecnologias e tendências que, direta ou indiretamente, estão relacionadas ao posicionamento e navegação a partir de *smartphones*.

### 2.1 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS DO GNSS

O GNSS possibilita a aquisição de posição, velocidade e tempo (PVT), através de um receptor compatível com o sistema e que seja capaz de processar os sinais provenientes dos satélites de posicionamento que orbitam ao redor da Terra. Os satélites podem pertencer a um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite System*), Regional (RNSS - *Regional Navigation Satellite System*) ou Aumentado (SBAS – *Satellite-Based Augmentation System*) Monico (2008).

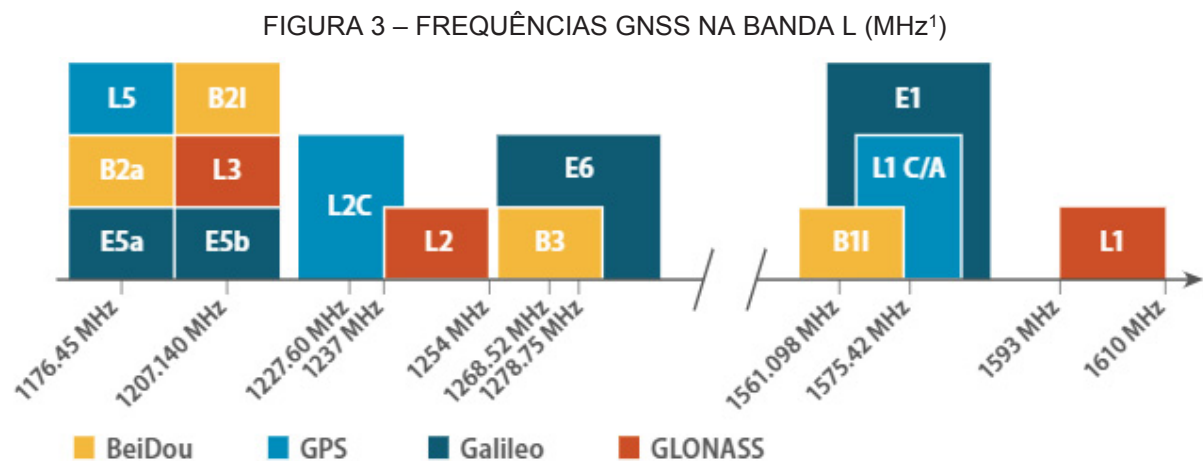
Atualmente, existem quatro sistemas globais em operação ou em fase final de desenvolvimento: NAVSTAR-GPS (EUA), GLONASS (Rússia), Galileo (Europa) e BeiDou (China). Os sistemas Galileo e BeiDou estão previstos para se tornarem totalmente operacionais em 2020. O GRÁFICO 1 indica o número de satélites presentes nestes sistemas entre os anos 2000 a 2017.

GRÁFICO 1 - NÚMERO DE SATÉLITES GNSS EM OPERAÇÃO ENTRE OS ANOS 2000 E 2017



FONTE: GSA (2017).

Cada sistema global apresenta um determinado número de satélites posicionados sobre diferentes planos orbitais e altitudes (órbitas médias), o que possibilita ao usuário obter posições tridimensionais (3D) a qualquer momento e em qualquer lugar no globo Subirana et al. (2013). Os satélites de posicionamento transmitem diversos sinais. A FIGURA 3 ilustra as principais frequências GNSS alocadas na banda L para as respectivas constelações globais.



FONTE:GSA, (2018a).

Qualquer um dos sistemas de posicionamento globais apresentam três segmentos principais: o segmento espacial, que compreende os satélites; o segmento de controle, que é responsável pelo funcionamento adequado do sistema; e o segmento de usuário, que inclui os receptores GNSS que fornecem posicionamento, velocidade e tempo preciso aos usuários. Informações mais detalhadas sobre os segmentos, podem ser obtidas em KRUEGER (1996), MONICO (2008) e SANZ SUBIRANA; ZORNOZA; HERNÁNDEZ-PAJARES (2013).

### 2.1.1 Observáveis

Geometricamente, o princípio do posicionamento tridimensional é baseado em solucionar um problema geométrico entre as distâncias medidas entre a antena do receptor (usuário) e a posição de ao menos quatro satélites para computar as quatro

<sup>1</sup> MHz é uma unidade de frequência, equivalente a um milhão de Hertz.

incógnitas: três coordenadas tridimensionais da antena receptora sobre a superfície terrestre e o tempo Subirana et al. (2013).

O sistema de navegação por satélite é uma tecnologia de radiofrequência, logo, os sinais emitidos pelos satélites sofrem várias influências (erros) durante o percurso satélite-receptor, tais como: o não sincronismo entre os relógios dos satélites e do receptor, atrasos extras causados pela ionosfera, troposfera e outros elementos. Portanto, esta distância geométrica entre satélite-receptor, passa a ser denominada de pseudodistância (SEEBER, 2003).

A pseudodistância é obtida através de medições de tempo, isto é, os receptores GNSS processam sinais recebidos para obter o tempo transmitido ( $T_t$ ) e recebido ( $t_r$ ). A diferença entre ambos é o tempo de transmissão do sinal do satélite para o receptor. Dessa forma, a pseudodistância ( $PD$ ) pode ser obtida conforme:

$$PD = (t_r - T_t) \cdot c$$

Onde,  $c$  é a velocidade de propagação da luz no vácuo.

Segundo SEEBER, (2003), a equação fundamental de observação para uma pseudodistância empregando o código C/A em uma determinada época ( $t$ ) é dada por:

$$PD_{CD} = (t_r - T_t) \cdot c = D(t) + cdt_u(t) + cdt_{Tro}(t) + cdt_{Ion}(t) + cdt_S(t) + \varepsilon_D \quad (1)$$

onde:

$c$  = velocidade de propagação da luz no vácuo

$t_r$  = tempo no receptor referente ao sinal recebido;

$T_t$  = tempo no satélite referente ao sinal transmitido;

$D$  = distância geométrica formada entre as antenas do satélite e do receptor;

$cdt_u$  = erro de sincronismo entre o relógio do receptor e o tempo do sistema de satélite empregado (ex.: GPS);

$cdt_{Tro}$  = atraso na propagação do sinal do satélite devido à troposfera;

$cdt_{Ion}$  = atraso na propagação do sinal do satélite devido à ionosfera;

$cdt_S$  = erro de sincronismo entre o relógio do satélite e o tempo do sistema de satélite empregado (ex.: GPS); e

$\varepsilon_D$  = demais erros sistemáticos (Ruído do receptor, efeito de multicaminho, centro de fase das antenas, etc).

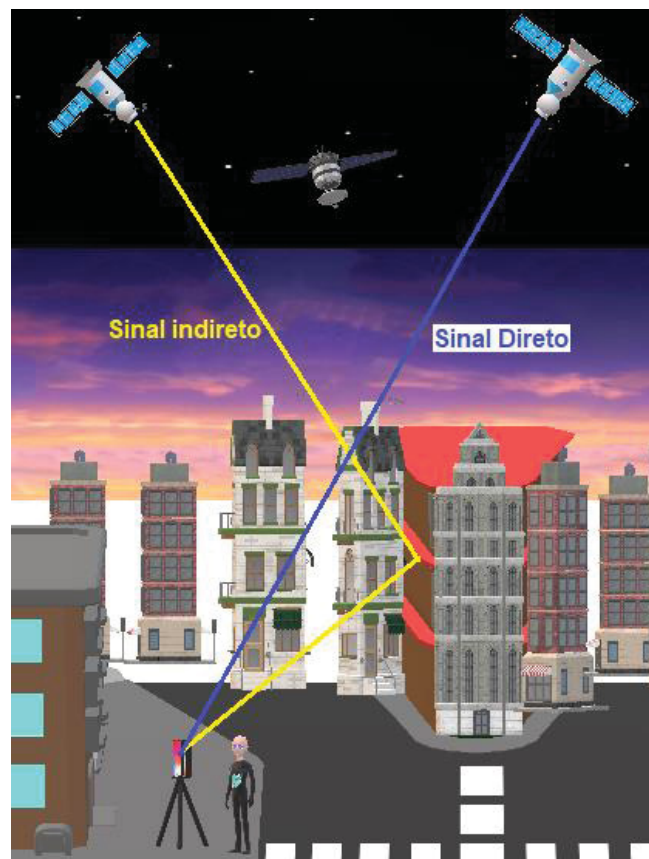
As observáveis básicas do sistema de navegação por satélite (ex.: GPS) que permitem determinar a posição velocidade e o tempo, são a pseudodistância a partir do código C/A (*Course acquisition*) e a fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora (SEEBER, 2013).

### 2.1.2 Erros inerentes ao posicionamento

Quando se almeja obter uma solução de PVT acurada as influências e/ou erros devem ser modelados, estimados ou eliminados.

O efeito de multicaminho é caracterizado quando o receptor GNSS recebe além dos sinais diretos (Receptor-Antena), os sinais indiretos, provenientes de reflexões de superfícies, tais como massa d'água, edifícios, vegetações (FIGURA 4). No entanto, este efeito pode ser minimizado através do uso de antenas com abas largas e/ou específicas, tal como a antena *Chok Ring*, e por meio de materiais atenuadores Viski (2012).

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO



FONTE: O autor (2019)

Segundo GOGOI et al., (2018), o multicaminho tem sido o principal fator limitante na obtenção de coordenadas acuradas a partir de *smartphones*. Este efeito causa interferências diretas no  $C/N_0$  (*Carrier to Noise Power Density Ratio*) que representa a intensidade do sinal expresso em decibéis (dB-Hz), isto é, quanto maior o valor do  $C/N_0$ , melhor será o posicionamento. Ainda, de acordo com HUMPHREYS et al., (2016), a sensibilidade das antenas presentes nos *smartphones* é, em parte, responsável pela aquisição de sinais com fraca intensidade e/ou com valores baixos de  $C/N_0$ .

O atraso troposférico ocorre na camada mais baixa da troposfera (0 - 50 km), enquanto que o atraso ionosférico ocorre na segunda camada (50 a 1000 km). Na primeira camada ocorrem interferências no sinal em virtude da variação do índice de refração dos gases atmosféricos em relação ao espaço livre, ocasionando uma “curvatura” no sinal durante o percurso satélite-receptor, nas camadas da atmosfera, podem afetar o posicionamento. O atraso troposférico pode ser minimizado através de modelos desenvolvidos empiricamente a partir de observações atmosféricas Sapucci et al. ().

O atraso ionosférico ocorre devido a ionização dos gases devido a atividades solares, podendo provocar atrasos na propagação dos sinais de até 100 metros Viski (2012). Usualmente, quando há apenas uma frequência disponível é aplicado um modelo (ex.: Klobuchar, NeQuick) para considerar os atrasos ionosféricos, porém, pode-se empregar a combinação linear para estimar ou eliminar este erro GSA (2018b).

Segundo LEICK; RAPOPORT; TATARNIKOV (2015), pode-se eliminar o erro ionosférico empregando receptores geodésicos de dupla frequência. Neste âmbito, tendo em vista que o Mi 8 foi o primeiro *smartphone* com sensor GNSS de dupla frequência, até o momento não há estudos relacionados a esta temática.

O usuário civil tem acesso apenas aos sinais não criptografados emitidos pelos satélites, logo, além dos erros inerentes ao posicionamento anteriormente mencionados, o mesmo está sujeito a ataques mal intencionados, que podem comprometer a integridade do GNSS, e consequentemente, a segurança do usuário. O *Jamming* e o *Spoofing* (terminologias utilizadas pela comunidade internacional) são alguns exemplos relacionadas às vulnerabilidades dos sinais GNSS, para mais detalhes à respeito pode-se consultar Akos (2012), NovAtel (2013), Achanta et al. (2015) e Curran et al. (2017).



## 2.2 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O posicionamento utilizando GNSS pode ser realizado por diferentes métodos de posicionamento, cada qual com seus respectivos níveis de acurácia que podem variar desde algumas dezenas de metros até poucos milímetros. As técnicas de posicionamento podem empregar a fase da onda portadora e/ou a pseudodistância. Quando se almeja alta precisão geralmente o posicionamento GNSS é realizado utilizando a fase da onda portadora Monico (2008).

### 2.2.1 Posicionamento Absoluto ou Por Ponto

Segundo KRUEGER, (1996), este método pode ser realizado de maneira estática ou cinemática, permitindo a obtenção de coordenadas utilizando apenas um receptor. Estas coordenadas estão referenciadas diretamente ao geocentro e são obtidas de forma instantânea, através das observações da pseudodistância, derivadas do código C/A, das efemérides transmitidas e demais parâmetros da mensagem de navegação. Dessa forma, a utilização deste método pode apresentar limitações no que tange a acurácia obtida.

Neste método é necessário que o receptor esteja recebendo sinais de no mínimo de quatro satélites para que seja possível determinar a posição tridimensional instantânea do ponto.

Neste âmbito é importante destacar que durante o levantamento deve-se sempre observar os valores de DOP (*Dilution of Precision*). Estes valores caracterizam a qualidade da precisão alcançada mediante a distribuição dos satélites no espaço. Os diferentes DOPs estão relacionados principalmente a dois fatores: a precisão da observação da pseudodistância e a geometria dos satélites envolvidos Monico (2008).

Uma alternativa para melhorar a qualidade das coordenadas obtidas por meio das observações efetuadas através de um posicionamento por ponto, é armazenar as observações brutas e efetuar o pós-processamento dos dados coletados. As coordenadas são calculadas através da utilização das observações coletadas, de efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites por meio de um programa científico na maioria dos casos, recebendo a denominação de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).



### 2.2.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) é um método de posicionamento pós-processado que utiliza principalmente as correções em função dos relógios dos satélites, contidos nas mensagens de navegação, e o uso de efemérides precisas. Estes parâmetros, devem ser fornecidos aos usuários através de fonte externa como o IGS (*International GNSS Service*). (MONICO, 2008).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibiliza um serviço online gratuito para a realização do processamento PPP denominado IBGE-PPP. Este serviço faz uso do programa CSRS-PPP (GPS Precise Point Positioning) desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada* (NRCan).

O IBGE-PPP permite que os usuários de dados provenientes das constelações GPS e GLONASS, enviem seus arquivos de dados no formato universal RINEX, ou no formato HATANAKA provenientes de receptores de mono, ou dupla frequência (L1 e L2), e em modo estático ou modo cinemático. Estes usuários irão receber coordenadas geodésicas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e também no *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) IBGE (2017).

Para a determinação de coordenadas precisas, o serviço online utiliza as observáveis da fase da onda portadora juntamente às órbitas dos satélites, correções dos erros dos relógios do satélite, correção do centro de fase das antenas dos satélites e dos receptores, parâmetros de transformação entre os sistemas referenciais, modelo de carga oceânica, modelo de velocidades e o modelo de ondulação geoidal.

O processamento de dados através deste serviço só foi possível a partir de 14 de agosto de 2011, e só podem ser processados dados posteriores à 25 de fevereiro de 2005.

Esta técnica permite obter coordenadas com alta precisão (nível centimétrico) Laurichesse; Banville (2018). Contudo, essa precisão pode variar de acordo com as órbitas e erros dos relógios dos satélites utilizados, bem como, do tempo de rastreo de dados e o tipo do receptor utilizado. Além disso, esta técnica independe de fatores como dimensões de linhas de base e de comunicação entre estações.

### 2.2.2 Posicionamento Relativo

Neste método as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado através de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas. Neste caso, é necessário que pelo menos dois receptores colem dados de no mínimo quatro satélites simultaneamente, onde um dos receptores deve ocupar uma estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou estação base. Dessa forma, há uma redução significativa de erros, especialmente do erro de sincronismo do relógio do satélite em relação ao tempo GPS, das efemérides e da propagação do sinal na atmosfera. O comprimento da linha de base é um fator importante neste método de posicionamento, influenciando no tempo de ocupação da estação itinerante.

Neste método de posicionamento podem-se usar as observáveis: fase da onda portadora, pseudodistância ou as duas em conjunto. Os dados obtidos através deste tipo de posicionamento são pós-processados.

De acordo com MONICO, (2008), esse método pode ser subdividido em diversos métodos, os quais ressaltam-se:

- a) Método de posicionamento relativo estático: consiste na determinação de vértices de interesse de modo que, tanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de referência quanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de interesse devem permanecer estacionados durante todo o levantamento. Neste método o tempo de observação pode variar de dezenas de minutos (mínimo 20 minutos) até vários dias.
- b) Método de Posicionamento Relativo Cinemático: tem como observável fundamental a fase da onda portadora, no entanto, a pseudodistância é importante para determinar o instante de transmissão do sinal do satélite e consequentemente sua posição. Este método consiste na determinação das coordenadas dos pontos, a partir de um ponto de coordenadas conhecidas (base), com o receptor em movimento (móvel). Neste caso é obtida a trajetória descrita pelo receptor móvel. Ainda, é de fundamental importância a realização de uma inicialização antes de se proceder ao deslocamento do receptor móvel.

## 2.3 GNSS NA ATUALIDADE

### 2.3.1 GNSS no cenário Econômico

Como uma fonte econômica e globalmente disponível de informações de posição, navegação e tempo, o GNSS contribui para uma gama de tecnologias e aplicações que se diversificam rapidamente, principalmente pelo reconhecimento da sociedade acerca do grande potencial deste sistema.

De acordo com O'CONNOR et al. (2019) durante os anos de 1984 à 2017, o sistema GPS gerou aproximadamente 1,4 trilhões de dólares em benefícios a economia dos EUA. Conforme apresentado na TABELA 1, pode-se observar que os setores que obtiveram as maiores contribuições foram os setores de Telecomunicações, Telemática<sup>2</sup> e os Serviços Baseados em Localização (SBL). Além disso, os autores estimam que em eventual interrupção do sistema GPS, a perda diária (sem contabilizar o setor da agricultura) seria de 1 bilhão de dólares por dia.

TABELA 1 – BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DO GPS PARA O SETOR PRIVADO ENTRE 1984 E 2017 E A ESTIMATIVA DE PERDAS EM 30 DIAS DE INTERRUPÇÃO DO SISTEMA NOS EUA

Setor	Foco analítico específico da pesquisa	Benefícios (Milhões)	Perdas (Milhões)
Agricultura	Tecnologias e práticas de agricultura de precisão	\$5,830	\$15,122 *
Eleticidade	Confiabilidade e eficiência do sistema elétrico	\$15,730	\$275
SBL	Aplicativos para <i>smartphone</i> e dispositivos de consumo que usam serviços de localização	\$215,702	\$2,859
Mineração	Ganhos de eficiência, redução de custos e maior precisão	\$12,350	\$949
Marítimo	Navegação, operações portuárias, pesca e navegação recreativa	Insignificante	\$10,411
Óleo e Gás	Posicionamento para perfuração e exploração afastado da costa	\$45,922	\$1,520
Agrimensura	Ganhos de produtividade, reduções de custos e maior precisão em levantamentos profissionais	\$48,124	\$331
Telecomunicações	Maior confiabilidade e utilização da banda larga para redes sem fio	\$685,990	\$9,816
Telemática	Ganhos de eficiência, reduções de custos e benefícios ambientais	\$325,182	\$4,137
TOTAL		\$1.354,830	\$45,420

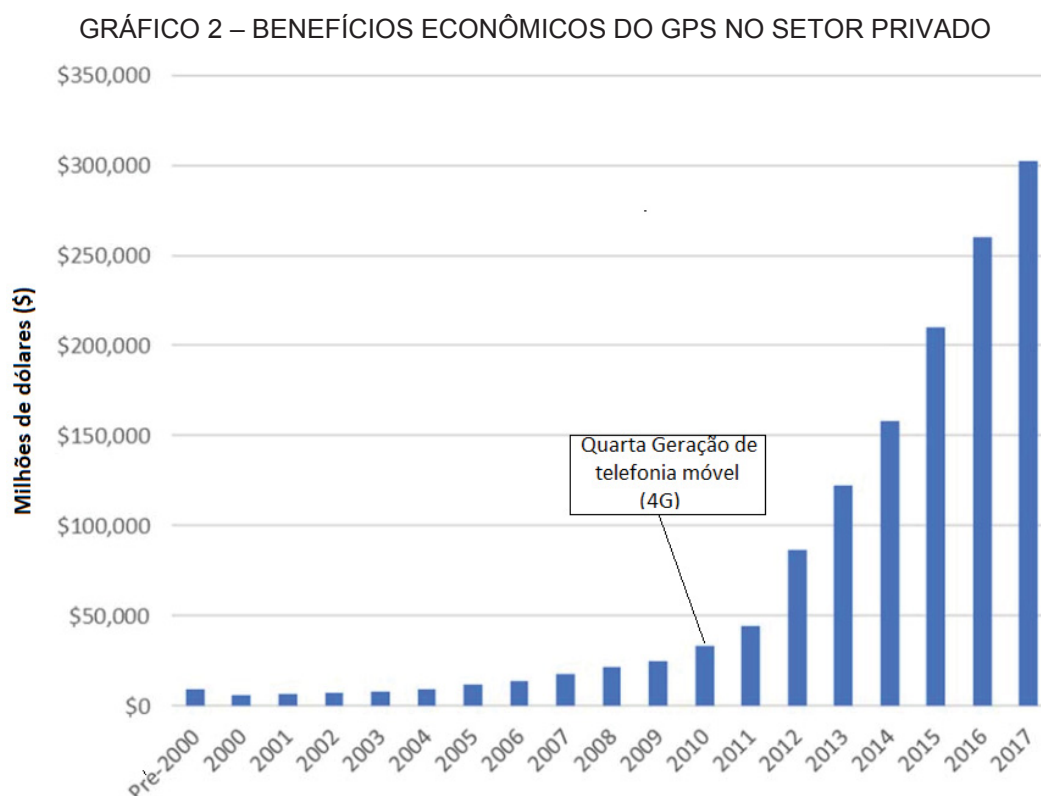
FONTE: Adaptado de O'CONNOR et al. (2019).

NOTA: \* Se a interrupção ocorrer durante a temporada crítica de plantio.

<sup>2</sup> A telemática é um campo de tecnologia que utiliza equipamentos a bordo para monitorar remotamente veículos para diversos fins (ex.: rastreamento de frotas e logística) O'Connor et al. (2019).

O GNSS possibilita obter ganhos em produtividade através do estabelecimento de rotas ótimas, navegação aprimorada e gerenciamento de frotas, consequentemente, pode-se reduzir os quilômetros percorridos e ainda, gerar benefícios ambientais e de saúde pública por meio da redução da combustão de combustíveis.

O setor de telecomunicações usa o tempo fornecido pelo GPS para sincronizar suas torres, isso reduz/elimina as chamadas perdidas e aumenta a banda larga, permitindo redes de telefonia mais avançadas, como a quarta e quinta geração (4G e 5G). Neste contexto, é interessante observar que mais de 90% dos benefícios gerados a economia surgem a partir de 2010, logo após o início da rede 4G.



FONTE: Adaptado de O'CONNOR et al. (2019).

### 2.3.2 Constelações e Frequências

No que tange ao serviço de radionavegação por satélites RNSS, recentemente houve a inclusão de novos sistemas regionais, como o QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*) e o NavIC (*Indian Regional Navigation Satellite System* (IRNSS)).

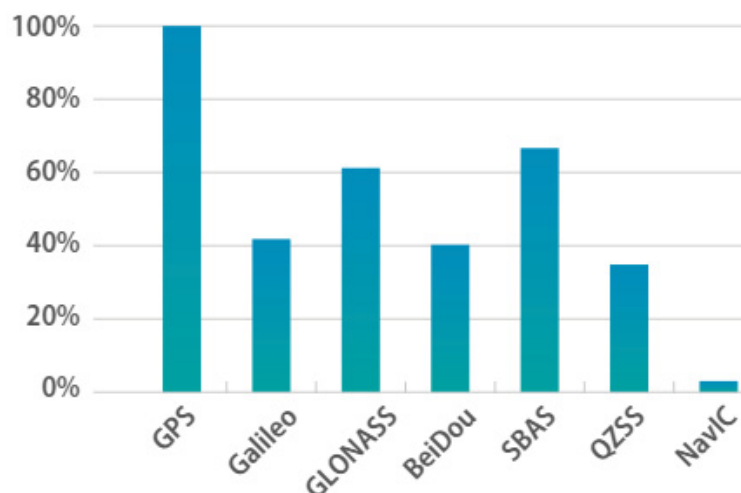
Conhecido popularmente como o “GPS japonês”, o QZSS opera desde novembro de 2018 com quatro satélites, três destes estão visíveis continuamente na área compreendida pela Ásia-Oceania. Ainda, a previsão é que em 2023 este sistema esteja composto por sete satélites Cabinet Office (Japan) ().

O NavIC é um sistema regional indiano que recobre a Índia, bem como, uma região que se estende por mais de 1500 km em seu entorno. Atualmente o sistema conta com oito satélites, três destes estão posicionados em órbitas geoestacionárias (GEO), enquanto que os demais estão em órbitas geossíncronas (GSO) que mantêm uma inclinação de 29° em relação ao plano equatorial ISRO ().

Uma análise independente realizada pela GSA avaliou a capacidade de mais de 500 receptores, *chipsets* e módulos GNSS disponíveis no mercado. Parte desta análise está ilustrada nos GRÁFICOS 3, 4, e 5 apresentados na sequência.

O GRÁFICO 3 apresenta o percentual de receptores GNSS capazes de rastrear sinais provenientes de determinados sistemas de posicionamento, pode-se observar que aproximadamente 70% dos receptores analisados tem a capacidade de rastrear sinais provenientes dos sistemas aumentados (SBAS).

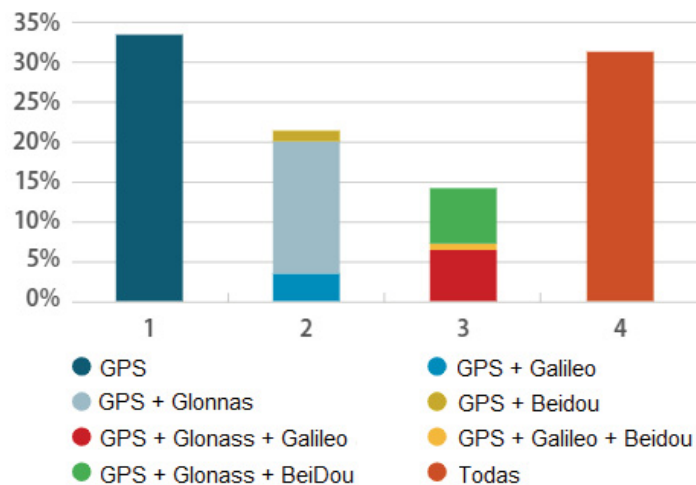
GRÁFICO 3 - CAPACIDADE DE RASTREIO DOS RECEPTORES GNSS FRENTE ALGUMAS CONSTELAÇÕES



FONTE: GSA, (2018b).

O GRÁFICO 4 ilustra o percentual de receptores capazes de rastrear uma, duas, três ou todas as constelações globais disponíveis atualmente. Verifica-se que cerca de 30% dos receptores são capazes de rastrear sinais provenientes de múltiplas constelações.

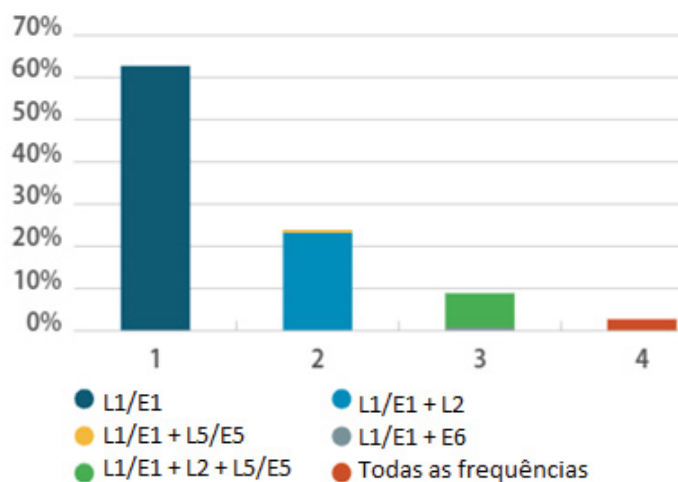
GRÁFICO 4 - NÚMERO DE CONSTELAÇÕES SUPORTADAS PELOS RECEPTORES GNSS



FONTE: Adaptado de GSA, (2018b).

Observa-se ainda, que cerca de 60% dos receptores analisados tem capacidade de processamento de pelo menos um sinal (L1/E1) enviado pelos satélites destas constelações (GRÁFICO 5). Contudo, todas as frequências enviadas por eles só podem ser processadas por um pequeno percentual de receptores (inferior a 3%).

GRÁFICO 5 – PERCENTUAL DE CAPACIDADE DOS RECEPTORES EM PROCESSAR DETERMINADAS FREQUÊNCIAS



FONTE: Adaptado de GSA, (2018b).

De acordo com SALEEM et al., (2017), em ambientes onde há presença de sinais ruidosos (ex.: meio urbano), a frequência L5 fornece melhores soluções quando comparada a frequência L1. Ainda, segundo a GSA (2018a), as frequências L5/E5 se

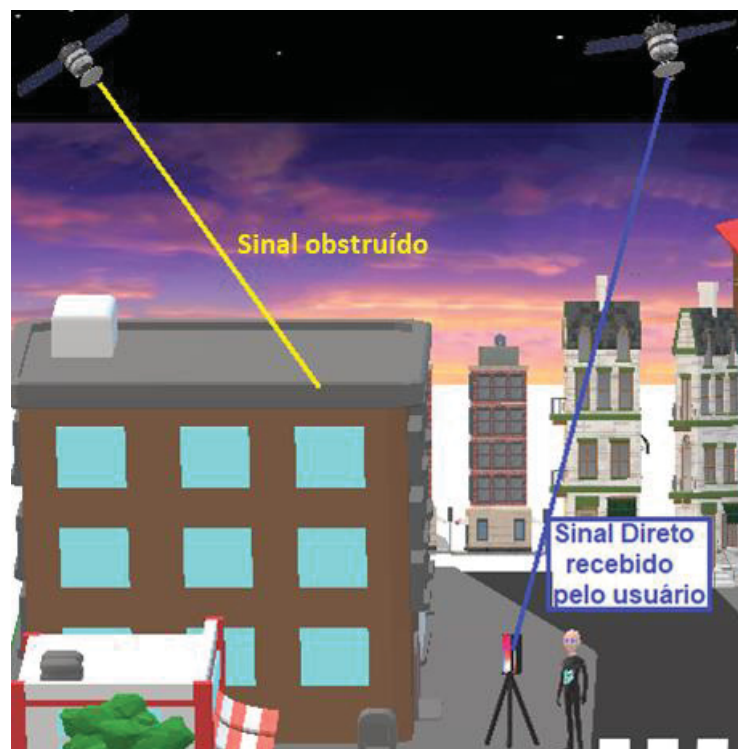
tornarão uma escolha natural para futuros receptores com dupla frequência, embora haja uma ampla difusão do sinal L2 no mercado.

Grande parte dos sensores GNSS desenvolvidos nos dias atuais são capazes de processar sinais provenientes de múltiplas constelações e múltiplas frequências. Atualmente, de acordo com LAURICHESSE; BANVILLE (2018), todos os satélites pertencentes às constelações Galileo e BeiDuo tem capacidade de envio de pelos menos três frequências.

A combinação de várias constelações fortalece a geometria e as várias frequências permitem um melhor desempenho no que tange a resolução de ambiguidade e tempo de estabilização da precisão pelo método PPP Laurichesse; Banville (2018).

No contexto do posicionamento e navegação a partir de *smartphones*, o emprego de receptores com múltiplas constelações se torna importante, principalmente em ambientes com visão limitada do céu, como nos chamados cânions urbanos (FIGURA 5), onde há presença constante de “áreas de sombras”, as quais degradam ou impossibilitam a aquisição da posição em virtude da ausência de sinais diretos (WANG; GROVES; ZIEBART, 2015).

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA LIMITAÇÃO DO GNSS EM AMBIENTES URBANOS



FONTE: O autor (2019).



### 2.3.3 Serviços Baseados em Localização (SBL)

Segundo BRIMICOMBE e LI (2006), os serviços baseados em localização, são definidos como a entrega de dados e serviços de informação, onde o conteúdo desses serviços é personalizado para a localização atual ou projetada a contexto do usuário. Geralmente está implícito que o usuário está em movimento e portando algum dispositivo móvel.

O GNSS tornou-se um elemento essencial para os principais desenvolvimentos tecnológicos contemporâneos, como o SBL. Ele possibilita a sincronização entre sistemas e aplicações a partir do tempo (*timing*), pois, além da posição, o GNSS fornece informações contínuas e confiáveis no que tange ao “tempo” empregado pelo SBL e outros sistemas.

Em alguns casos, pode-se afirmar que determinados produtos ou serviços não seriam possíveis ou não teriam sido desenvolvidos sem o GNSS. Por exemplo, a maioria dos aplicativos baseados em localização, populares entre os consumidores hoje em dia, não existiria sem os recursos de localização gratuitos e onipresentes fornecidos pelo GNSS.

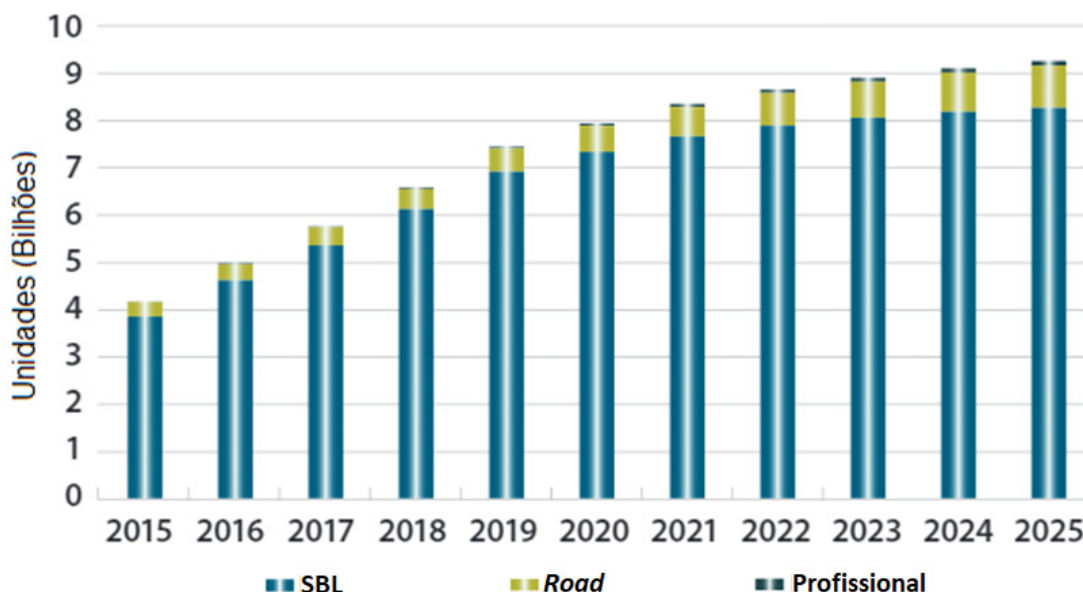
Algumas das aplicações do SBL incluem: as cidades inteligentes, redes sociais, jogos de proximidade, marketing, distribuição de conteúdo multimídia, hospedagem e gerenciamento de animais, assistência médica, vigilância, segurança pública, dentre outros Usman et al. (2018).

De acordo com O’CONNOR et al. (2019), o SBL gerou cerca de 218 bilhões de dólares em benefícios públicos e privados apenas para os residentes nos EUA. Ainda, estima-se que em eventual interrupção do sistema GPS por 30 dias, haveriam perdas de aproximadamente 2,9 bilhões de dólares ao setor.

Segundo a GSA (2018b), os *smartphones* continuarão a ser os dispositivos que mais irão empregar sensores GNSS. Em 2017 já possuíam cerca de 5,4 bilhões de unidades. O GRÁFICO 6 apresenta o número de unidades GNSS nos segmentos: SBL, *Road* (ex.: carros autônomos, navegação, dentre outros) e no Profissional (ex.: agrimensura, drones, aviação, dentre outros).



GRÁFICO 6 – UNIDADES GNSS EMPREGADAS NOS SEGMENTOS SBL, ROAD E PROFESSIONAL EM DETERMINADOS SEGMENTOS



Fonte: Adaptado de GSA (2017a).

A coleta de informações provenientes de sensores GNSS a partir de telefones celulares teve início no ano de 1999, com a introdução do primeiro telefone celular com sensor GPS Robustelli et al. (2019).

A obtenção de posições com acurácia centimétrica utilizando *smartphones*, se demonstrou possível, pela primeira vez, através do emprego de uma antena externa interligada ao dispositivo e de um amplificador de baixo ruído (PESYNA e colab., 2014). Contudo, o processamento dos sinais neste estudo, foram realizados externamente ao *smartphone*.

Outro fator limitante para posicionamento preciso com *smartphones* diz respeito ao Controle Automático de Ganho - CAG (termo em inglês: *Automatic Gain Control* - AGC), o qual é uma característica implementada nos sensores GNSS presentes nestes dispositivos móveis visando reduzir o consumo de energia. Esta ferramenta consiste na alternância contínua de curtos períodos (centenas de milissegundos) nos quais o rastreamento GNSS está ativo e inativo, resultando em descontinuidades nas observações de fase (saltos de ciclos) Realini et al. (2017).

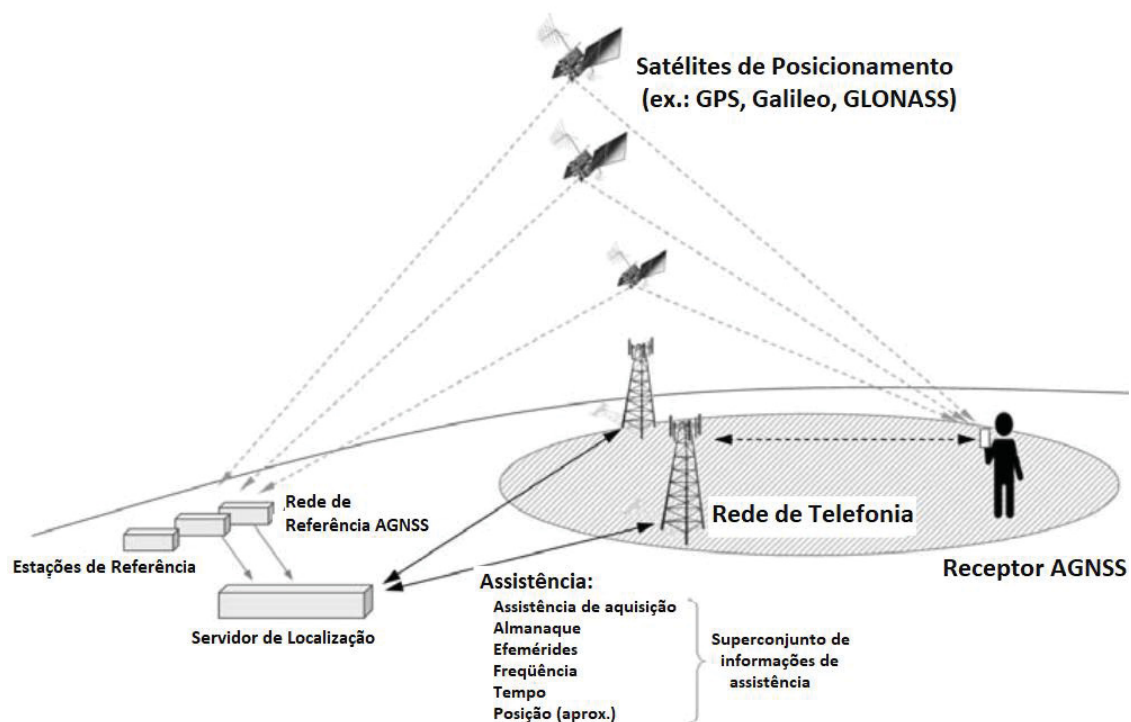
Mais informações referentes ao funcionamento CAG podem ser obtidas em AKOS (2012).

### 2.3.4 GNSS Assistido (AGNSS)

Ao se realizar uma analogia das inovações tecnológicas relacionadas às geociências, sobretudo, no que tange ao compartilhamento de informações, observa-se que houve um aumento da flexibilidade na transmissão de dados em face do surgimento de canais de comunicação alternativos, tais como, as redes de telefonia móvel, redes locais sem fio (em inglês *wireless local area network*) e *bluetooth* Ceccato et al. (2018).

Neste contexto, cita-se o AGNSS (GNSS Assistido). Este sistema tem como premissa a melhora na performance do receptor GNSS através de canais alternativos de comunicação além do comumente utilizado via satélite/receptor, isto é, fontes alternativas, como torres das redes de telefonia (FIGURA 6), podem ser utilizadas para enviar dados iguais ou equivalentes aos receptor Diggelen (2009). Atualmente em virtude da existência de novos sistemas globais, a terminologia AGPS (GPS Assistido) passou a ser denominada AGNSS.

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA AGNSS



FONTE: Adaptado de VAN DIGGELEN (2009).

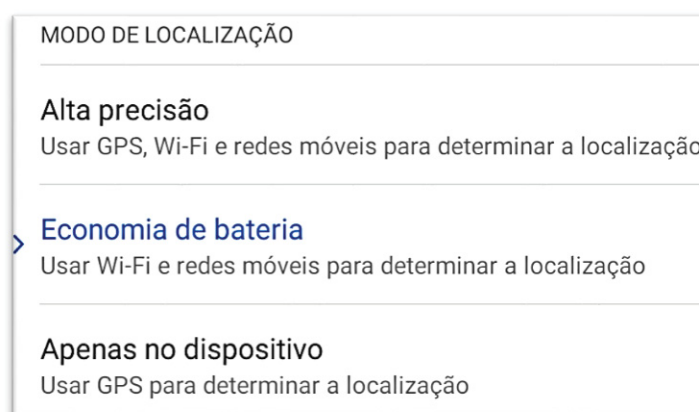
Receptores simples normalmente realizam a busca e decodificação de cada sinal proveniente de cada satélite, consumindo energia e tempo. O receptor calcula a posição propriamente dita após os dados de posição dos satélites serem decodificados Stansell et al. (2015).

O AGNSS permite que o receptor conheça quais frequências espera captar mesmo antes de efetuar esta busca. Decodificados os sinais dos satélites, realiza-se o cálculo das pseudodistâncias, passando de minutos para milissegundos. Diggelen (2009).

TTFF (sigla em inglês para: *Time to first fix*) é constantemente empregada no contexto do AGNSS, e refere-se ao tempo necessário para adquirir sinais, bem como, os dados dos satélites visando o cálculo da localização. Logo, o termo fixo (*fix*) não deve ser confundido com a terminologia utilizada para indicar a fixação de ambiguidades.

De forma geral o AGNSS é um sistema que pode, dentro de certas condições, contribuir com a performance na obtenção de soluções mais rápidas, reduzindo o consumo de bateria pelo dispositivo que o emprega. Os *smartphones* modernos permitem realizar o posicionamento a partir de fontes alternativas (FIGURA 7).

FIGURA 7 – MEIOS DE OBTENÇÃO DE DADOS PVT NO SMARTPHONE XIAOMI MI 8



FONTE: O autor (2019).

### 2.3.5 Plataforma Android e dados GNSS

O Android é um sistema operacional móvel baseado em uma versão modificada da plataforma Linux. Foi desenvolvido originalmente por uma empresa

emergente de mesmo nome, a Android, Inc. Em 2005, como parte de sua estratégia para entrar no contexto dos dispositivos móveis, o Google comprou a Android, Inc. DiMarzio (2017).

Em agosto de 2016 a empresa Google lançou oficialmente o sistema operacional Android Nougat (7.0), inovando o contexto de posicionamento e navegação através de uma nova interface de programação de aplicativos API (ingl. *Application Programming Interface*). De forma geral, a nova API (*android.location*) tornou mais flexível o acesso aos dados GNSS brutos.

A TABELA 2 caracteriza o percentual de distribuição de algumas das versões da plataforma Android com seus respectivos níveis de API. A distribuição foi calculada com base no número de dispositivos que empregam aplicativos disponíveis na Google Play Store.

TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO DE ALGUMAS VERSÕES ANDROID

Nome	Versão	Data de lançamento inicial	Nível API	Distribuição
Marshmallow	6.0	05 de Outubro de 2015	23	16,9%
Nougat	7.0	22 de Agosto de 2016	24	11,4%
Nougat	7.1	04 de Outubro de 2016	25	7,8%
Oreo	8.0	21 de Agosto de 2017	26	12,9%
Oreo	8.1	5 de Dezembro de 2017	27	15,4%
Pie	9	6 de Agosto de 2018	28	10,4%

FONTE: Adaptado de “Painéis | Android Developers” (Acesso em 04 de junho de 2019).

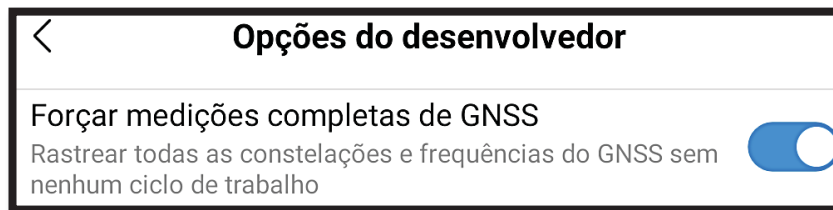
Observa-se que aproximadamente 58% dos usuários utilizam dispositivos com API igual ou superior ao nível 24, isto é, os usuários podem ter acesso aos dados GNSS brutos caso os seus *smartphones* possuam sensores GNSS.

Vale ressaltar que, embora a API possibilite o acesso aos dados, os fabricantes dos dispositivos móveis não são obrigados a cumprir com o fornecimento, logo, nem todos os dispositivos são compatíveis com a metodologia. A lista completa das informações disponíveis a partir da API mencionada e dos respectivos dispositivos compatíveis, está disponível no site: <https://g.co/GNSSTools>.

A API oferecida a partir do Android 8 apresenta uma nova ferramenta que possibilita ativar ou desativar a função CAG mencionada anteriormente. Significando, em teoria, que o *smartphone* pode rastrear continuamente os sinais coletados pelo sensor GNSS. No *smartphone* Xiaomi Mi 8 (Android 9) esta opção está disponível ao

ativar o modo desenvolvedor do aparelho (FIGURA 8). No entanto, vale mencionar que, de modo similar, o fabricante não é obrigado a desenvolver o produto com esta ferramenta.

FIGURA 8 - FUNÇÃO CAG DISPONÍVEL NO MI 8.



FONTE: O autor (2019).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os procedimentos metodológicos concebidos no decorrer desta pesquisa.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo foram estabelecidas em locais que permitissem a realização de campanhas de coleta de dados sob diferentes cenários. Buscou-se identificar ambientes que pudessem contribuir com a análise do comportamento do sensor GNSS presente no Mi 8, frente a determinadas características indicadas na TABELA 3. Portanto, foram estabelecidos quatro cenários.

TABELA 3 – CENÁRIOS E SUAS CARACTERÍSTICAS EMPREGADAS NESTA PESQUISA

<b>Cenário</b>	<b>Localização</b>	<b>Características</b>	<b>Modo de posicionamento</b>
1	Laboratório Camil Gemael - UFPR	Vértice livre de obstruções	Estático
2	Laboratório Camil Gemael - UFPR	Variações de altura da antena	Cinemático
3	Pista de Atletismo - UFPR	Obstruções parciais	Cinemático
4	Baía de Antonina – PR	Massa d'água (multicaminho)	Cinemático

FONTE: O autor (2019).

Os Cenários 1, 2 e 3 foram definidos dentro do campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado na Avenida Coronel Francisco H. dos Santos, s/n, Bairro Jardim das Américas, Curitiba-PR. Sobre o Laboratório de Astronomia Camil Gemael, foram concebidos os Cenários 1 e 2, enquanto que, o Cenário 3, foi realizado sobre a Pista de Atletismo da UFPR (FIGURA 9).

Localizada a uma distância de aproximadamente 25 metros do edifício Camil Gemael há uma estação pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC-UFPR), cujos dados foram utilizados em determinadas etapas no decorrer desta pesquisa.



FIGURA 9 - CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO – UFPR

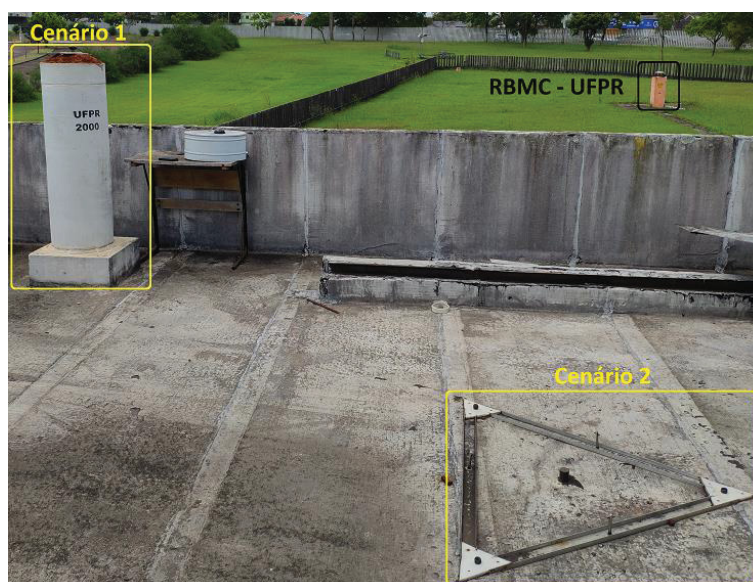


FONTE: Adaptado de UFPR CampusMap (2019).

O Cenário 1 consiste em um pilar fixo (UFPR 2000) com dispositivo de centragem forçada posicionado sobre sua base superior (FIGURA 10). Caracteriza-se como um ambiente livre de movimentações e obstruções (ex.: árvores e edifícios) conforme indicado na TABELA 3.

O Cenário 2, consiste em um vértice implantado na laje do edifício, o qual permite posicionar um bastão graduado sobre o mesmo, de modo que seja possível atribuir variações na altura da antena de um receptor, conhecidas e definidas a priori (FIGURA 10).

FIGURA 10 - CENÁRIOS 1 E 2 LOCALIZADOS SOBRE O LABORATÓRIO CAMIL GEMAEI



FONTE: O autor (2019).

O Cenário 3, estabelecido sobre a Pista de Atletismo de UFPR, possibilita a realização de trajetórias em locais com e sem a presença de obstruções parciais (ex.: árvores e edifícios) nas proximidades.

FIGURA 11 – VISÃO PANORÂMICA DA PISTA DE ATLETISMO DA UFPR.



FONTE: O autor (2019).



O Cenário 4 foi estabelecido na baía do município de Antonina-PR, localizada a uma distância de aproximadamente 80 km do campus, com o intuito de verificar as variações do nível da maré durante determinados intervalos de tempo.

### 3.2 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A escolha do *smartphone* foi realizada seguindo critérios como: preço, capacidade de armazenamento de dados, tipos de sensores presentes no dispositivo, versão e tipo de sistema operacional compatível com a ferramenta moderna de aquisição de dados GNSS. Logo, foi selecionado o *smartphone* Xiaomi Mi 8, cujas principais características são apresentadas na TABELA 4.

TABELA 4 – CARACTERÍSTICAS DO SMARTPHONE XIAOMI MI 8 UTILIZADO DURANTE A PESQUISA

Característica	Observação
Fabricante	Xiaomi
Modelo	Mi 8 (versão global)
Lançamento	Maior de 2018
Dimensões	154,9 (altura) x 74,8 (largura) x 7,6 mm (espessura)
Armazenamento interno	64 GB
RAM (do inglês <i>Random Access Memory</i> )	6 GB
Bateria (mAh)	3.400
Preço aproximado	R\$ 2.500,00
Sistema operacional (plataforma)	Android – MIUI (Interface)
Versão inicial do Android	8.1 Oreo (API = 28)
Versão atual do Android (junho de 2019)	9 Pie (API = 29)
Sensor – GNSS (Posicionamento)	AGNSS, GPS (L1 e L5), GLONASS (L1), Galileo (E1 e E5), Beidou (B1) e QZSS
Sensor - Giroscópio	Sim*
Sensor - Acelerômetro	Sim*
Sensor - Magnetômetro	Sim*
Sensor - Barômetro	Sim*

FONTE: O autor (2019).

NOTA: \* Verificado a partir do aplicativo *Sensors Toolbox* instalado no Mi 8.

A TABELA 5 contém as características do receptor geodésico escolhido para coletar os dados, cujos resultados obtidos foram empregados como referência para as demais etapas desta pesquisa.

TABELA 5 – RECEPTOR GEODÉSICO UTILIZADO COMO APOIO

Modelo Receptor	Constelação	Onda Portadora	Precisão Horizontal	Precisão Vertical
Topcon Hiper SR	GPS e GLONASS	L1 e L2	±3 mm + 0,5 ppm	±5 mm + 0,5 ppm

FONTE: TOPCON (2012).

### 3.3 SOFTWARES

Os *softwares* selecionados para realizar o processamento e/ou análise dos dados foram escolhidos de acordo com características como: capacidade de processamento, funcionalidades e viabilidade. Dessa forma, foram selecionados os softwares:

- Leica Infinity: Profissional (Pago);
- RTKLIB: Científico (Gratuito);
- IBGE-PPP: Serviço Online (Gratuito);

#### 3.3.1 Aplicativos (*apps*)

Os *apps Geo++ RINEX Logger* e *rinex On* NSL () realizam o acesso aos dados GNSS brutos referente às múltiplas constelações e múltiplas frequências, convertendo-os, automaticamente em arquivos no formato RINEX (versão 3.03).

Ambos os aplicativos mencionados geram arquivos RINEX com intervalo de gravação de 1s em modo estático ou cinemático, no entanto, apenas o *app rinex On* gera dados de navegação e armazena os dados em arquivos no formato NMEA.

O terceiro aplicativo selecionado *GPS Logger Pro*, não apresenta soluções compatíveis com a metodologia moderna e foi utilizado apenas em campanhas realizadas no Cenário 3.

A TABELA 6 contém os aplicativos anteriormente mencionados e que foram selecionados na plataforma oficial da Google, denominada *Google Play Store*.

TABELA 6 – APLICATIVOS (APPS) SELECIONADOS NA PLATAFORMA GOOGLE PLAY STORE

Aplicativo	Lançamento	Versão utilizada	Oferecido por	Nº de Downloads
<i>Geo++ RINEX Logger</i>	25/07/17	2.0	Geo++ GmbH	> 5.000*
<i>rinex ON</i>	24/05/18	1.2 e 1.3	Nottingham Scientific	> 500*
<i>GPS Logger Pro</i> (Versão Paga)	18/07/13	3.4.5	Peter Ho	> 500

FONTE: O autor (2019).

NOTA: \* Levantamento realizado na plataforma Google Play Store no dia 03 de junho de 2019.

O aplicativo desenvolvido pela Google, denominado GnssLogger (versão 2.0.0.1) também foi utilizado, contudo, este aplicativo foi disponibilizado pela Google na plataforma GitHub (<http://bit.ly/2Wy84JC>). Este *app* permite armazenar os dados em um formato específico, definido nesta pesquisa como “GnssLogger” (FIGURA 12). Este formato de dados é compatível com o formato requerido pelo software de análise *Gnss Analysis app* desenvolvido pela Google.

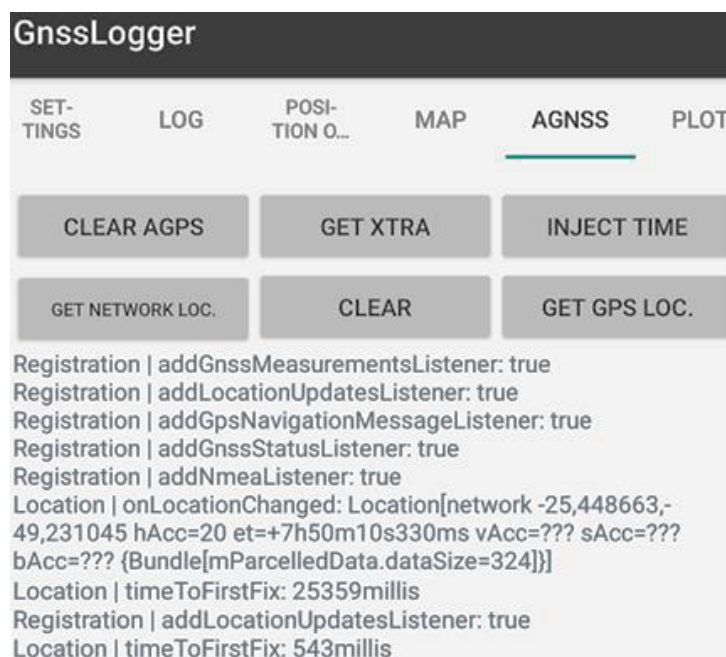
FIGURA 12 - PARTE DO ARQUIVO GNSSLOGGER OBTIDO A PARTIR DO MI 8

```
#
# Header Description:
#
# Version: v2.0.0.1 Platform: 9 Manufacturer: Xiaomi Model: MI 8
#
# Raw,ElapsedRealtimeMillis,TimeNanos,LeapSecond,TimeUncertaintyNanos,FullBiasNanos,BiasNanos,Bi
#
# Fix,Provider,Latitude,Longitude,Altitude,Speed,Accuracy,(UTC)TimeInMs
#
# Nav,Svid,Type,Status,MessageId,Sub-messageId,Data(Bytes)
# |
Raw,7373976,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,1,0.0,16431,2989359296
Raw,7373976,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,3,0.0,16431,2989359300
Raw,7373976,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,6,0.0,16392,2989359145
Raw,7373976,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,7,0.0,16431,2989359187
Raw,7373976,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,9,0.0,16431,2989359226
Raw,7373977,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,11,0.0,16431,2989359272
Raw,7373977,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,16,0.0,16431,2989359150
Raw,7373977,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,17,0.0,16431,2989359150
Raw,7373977,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,19,0.0,16431,2989359150
Raw,7373977,129886000000,,,-1249815606113634142,0.0,4.825041032179183,,0,22,0.0,16431,2989359300
```

FONTE: O autor (2019).

O aplicativo GnssLogger possui ferramentas que permitem inserir dados de “Assistência”, caracterizando portanto, o AGNSS (FIGURA 13).

FIGURA 13 – FUNÇÃO AGNSS PRESENTE NO APLICATIVO GNSSLOGGER



FONTE: O autor (2019).

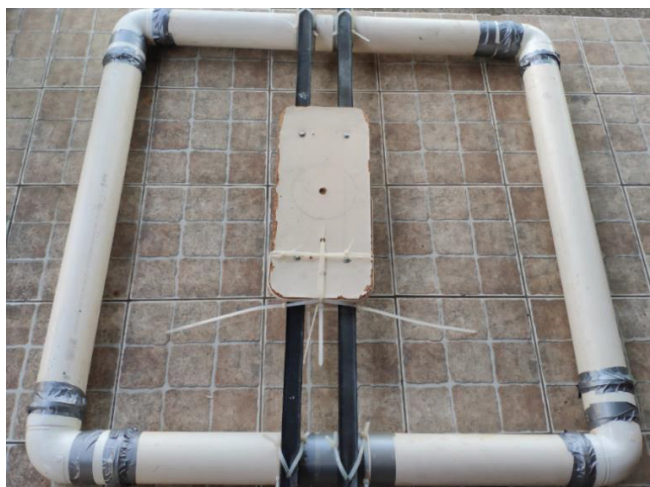
Em determinadas campanhas realizadas nesta pesquisa a função AGNSS foi empregada. Dessa forma, inicialmente foi utilizada a função “CLEAR AGPS” e posteriormente foram empregadas as funções “GET NETWORK LOC.”, “GET XTRA”, “INJECT TIME” e “GET GPS LOC.”. Contudo, apesar de terem sido empregadas em determinadas campanhas, estas características não serão avaliadas nesta pesquisa.

### 3.4 PLATAFORMA EULERIANA DESENVOLVIDA

Em plataformas (boias) eulerianas pode-se inserir equipamentos e sensores capazes de coletar informações como temperatura, pressão, precipitação, variação de nível de uma determinada massa d’água, dentre outros Viski (2012). Esta boia deve ser ancorada em determinada região de modo que as variações na sua posição planimétrica sejam mínimas.

Para realizar a coleta de dados sobre a massa d’água na baía de Antonina-PR (Cenário 4), foi desenvolvida uma plataforma euleriana, com materiais de baixo custo (FIGURA 14). A base estrutural da plataforma é composta por tubulações de policloreto de vinila (PVC), as quais permitem que a plataforma flutue sobre a massa d’água.

FIGURA 14 - PLATAFORMA EULERIANA DESENVOLVIDA.



FONTE: O autor (2019).

### 3.5 COLETA DE DADOS

De modo geral, em quase todas as campanhas realizadas foi utilizado o aplicativo *GnssLogger* concomitante com os demais. Logo, o termo “AGNSS”, presente em determinadas tabelas apresentadas nesta seção, diz respeito a inserção de dados de assistência (Seção 3.3.1) a partir do aplicativo mencionado.

Analogamente, o termo “CAG”, corresponde a ativação ou não da função que permite, em teoria, coletar dados sem saltos de ciclos.

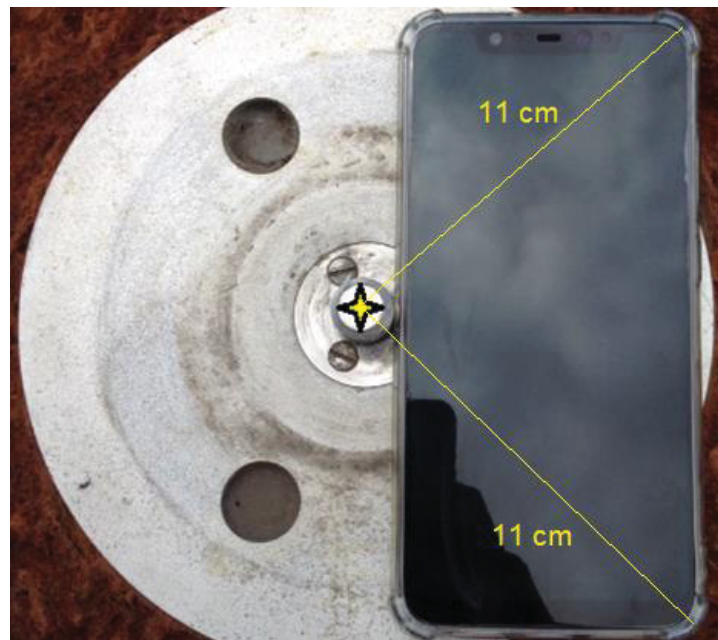
As características específicas referentes a aquisição de dados em cada cenário serão abordadas individualmente na sequência.

#### 3.5.1 Teste preliminar

Inicialmente foram realizadas campanhas preliminares de coleta de dados com o intuito de verificar e comprovar a compatibilidade do *smartphone* com a ferramenta moderna e, ainda, observar o comportamento dos *apps* e do Mi 8 propriamente dito durante estas coletas.

Os testes preliminares consistiram em três campanhas de coleta de dados, realizadas nos dias 11, 12 e 18 de outubro de 2018, com duração de 3h, 4h, e 1h e 30min, respectivamente. O *smartphone* foi posicionado horizontalmente sobre a base superior do Pilar 2000 (FIGURA 15) permitindo a coleta de dados em modo estático utilizando apenas o *app Geo++ RINEX Logger*.

FIGURA 15 - POSIÇÃO DO MI 8 SOBRE A BASE SUPERIOR DO PILAR 2000 DURANTE OS TESTES PRELIMINARES.



FONTE: O autor (2019).

Após a realização destas campanhas foi comprovada a capacidade do Mi 8 em acessar os dados GNSS brutos e, ainda, a correta geração dos arquivos RINEX pelo do aplicativo utilizado (ANEXO 1).

No entanto, no decorrer destes testes surgiu o questionamento acerca da posição da antena no *smartphone*, e/ou onde fora a “origem” da posição calculada pelo sensor GNSS. Dessa forma, com base nas informações obtidas no site myfixguide.com (<http://bit.ly/2WPw6Qg>), pode-se dizer que o sensor GNSS está localizado na região indicada na FIGURA 16. Nota-se ainda, que a bateria ocupa grande parte do interior do dispositivo.

FIGURA 16 – VISÃO INTERNA DO MI 8 DE MESMO MODELO UTILIZADO NESTA PESQUISA



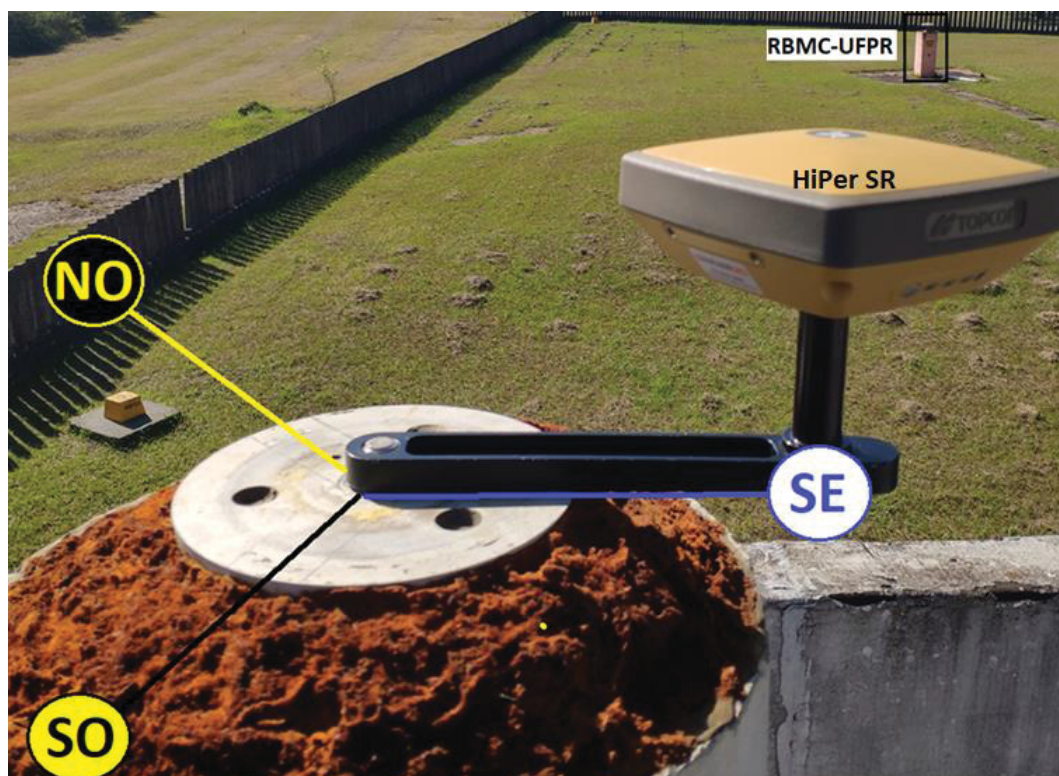
FONTE: Adaptado de “Xiaomi Mi 8 Teardown - MyFixGuide.com”, ([s.d.]).



### 3.5.2 Coleta de Dados - Cenário 1

Foram estabelecidas três orientações sobre a base superior do Pilar 2000, denominadas NO, SE e SO (FIGURA 17), as quais foram “materializadas” com o auxílio de uma haste de aproximadamente 20 cm, fixada sobre o dispositivo de centragem forçada.

FIGURA 17 – ORIENTAÇÃO DOS VÉRTICES DE APOIO POSICIONADOS SOBRE A BASE SUPERIOR DO PILAR 2000



FONTE: O autor (2019).

Mediante o emprego do método de posicionamento relativo estático foram realizadas campanhas de coleta de dados utilizando o receptor geodésico posicionado sobre os três vértices e sobre a origem da base superior do pilar. As campanhas tiveram duração de aproximadamente 4 horas de rastreamento e foram processadas posteriormente, a partir do *software* Infinity, utilizando como estação de referência a estação RBMC-UFPR.

Com exceção dos testes preliminares e das coletas realizadas no Cenário 4, nas demais campanhas o Mi 8 foi posicionado horizontalmente sobre a extremidade da haste, conforme ilustrado na FIGURA 18.

FIGURA 18 - MI 8 POSICIONADO SOBRE A HASTE EM RELAÇÃO AOS VÉRTICES



FONTE: O autor (2019).

A FIGURA 19 indica a posição do Mi 8 em relação a origem das coordenadas dos vértices de referência, as quais foram determinadas com o receptor geodésico HiPer SR, e a região mais provável da localização do sensor GNSS no aparelho.

FIGURA 19 - POSIÇÃO DO MI 8 SOBRE A HASTE EM RELAÇÃO A ORIGEM DAS COORDENADAS DE REFERÊNCIA.



FONTE: O autor (2019).

Ao todo foram realizadas dez campanhas de coleta de dados neste cenário, as quais resultaram em aproximadamente 72 horas de dados. A TABELA 7 apresenta as principais características das campanhas realizadas no Cenário 1.



TABELA 7 – CARACTERÍSTICAS DAS CAMPANHAS DE COLETA DE DADOS REALIZADAS SOBRE O CENÁRIO 1

<b>Data</b>	<b>Vértice</b>	<b>Aplicativo</b>	<b>CAG</b>	<b>Duração aproximada</b>
04/02	NO	Geo++ RINEX Logger	Sim	4h e 50min
04/02	SO	Geo++ RINEX Logger	Sim	4h
05/02	SE	Geo++ RINEX Logger	Sim	9h
06/02	NO	Geo++ RINEX Logger	Sim	4h e 50min
06/02	SO	Geo++ RINEX Logger	Sim	5h e 10min
07/02	NO	Geo++ RINEX Logger	Sim	4h
07/02	SO	Geo++ RINEX Logger	Sim	4h
12/02	SE	Geo++ RINEX Logger	Sim	12h
13/02	SO	Geo++ RINEX Logger	Sim	19h
14/02	NO	Geo++ RINEX Logger	Sim	5h e 40min

FONTE: O autor (2019).

Conforme mencionado anteriormente, os aplicativos podem gerar automaticamente arquivos RINEX a cada 60 min. Logo, foram obtidos aproximadamente 72 arquivos RINEX individuais, os quais foram unidos em campanhas com aproximadamente 4 horas com o objetivo de padronizar o tempo de coleta de dados entre as campanhas.

A TABELA 8 apresenta as respectivas campanhas utilizadas no Cenário 1.

TABELA 8 - CAMPANHAS DE COLETA DE DADOS SOBRE O CENÁRIO 1

<b>Levantamento</b>	<b>Identificação</b>	<b>Data</b>	<b>Duração aproximada</b>
1	Posi_NO_04_02	04/02/2019	4h e 50min
2	Posi_SO_04_02	04/02/2019	4h
3	Posi_SE_05_02_JN	05/02/2019	4h e 50min
4	Posi_SE_05_02_OS	05/02/2019	4h e 10min
5	Posi_NO_06_02	06/02/2019	4h e 50min
6	Posi_SO_06_02	06/02/2019	5h e 10min
7	Posi_NO_07_02	07/02/2019	4h
8	Posi_SO_07_02	07/02/2019	4h
9	Posi_SE_12_02_TX	12/02/2019	4h e 15min
10	Posi_SE_12_02_AD	12/02/2019	4h
11	Posi_SE_12_02_EI	12/02/2019	4h e 10min
12	Posi_SO_13_02_KN	13/02/2019	4h
13	Posi_SO_13_02_OR	13/02/2019	4h
14	Posi_SO_13_02_SV	13/02/2019	4h
15	Posi_SO_13_02_WB	13/02/2019	4h
16	Posi_SO_13_02_CF	14/02/2019	3h e 30min
17	Posi_NO_14_02	14/02/2019	5h e 40min

FONTE: O autor (2019).

### 3.5.3 Coleta de Dados - Cenário 2

O Mi 8 foi posicionado sobre a extremidade da haste, que por sua vez, foi fixada sobre um bastão graduado a uma altura inicial de 1,5 metros sobre o vértice M1 (FIGURA 20).

FIGURA 20 - COLETA DE DADOS SOBRE O CENÁRIO 2



FONTE: O autor (2019).

A aproximadamente 60 minutos de rastreo foram introduzidas variações de 50 cm, 1 m e 1,5 m na altura do bastão durante um intervalo de cerca de 4 horas de rastreo, conforme visualizado na TABELA 9.

TABELA 9 – VARIAÇÕES INTRODUZIDAS NA ALTURA DA ANTENA

Tempo entre as variações	Variação gerada na altura da antena	Altura do bastão
60 minutos (aproximadamente)	0	1,5 m (origem)
60 minutos (aproximadamente)	50 cm	2 m
60 minutos (aproximadamente)	1 m	3 m
-	1,5 m	1,5 m (origem)

FONTE: O autor (2019).

Neste cenário foram realizadas seis campanhas de coleta de dados utilizando o Mi 8, e uma sétima campanha empregando o receptor geodésico HiPer SR, conforme características apresentadas na TABELA 10.

TABELA 10 – CAMPANHAS REALIZADAS NO CENÁRIO 2

Data	Campanha	Aplicativo	AGNSS	CAG
26/01/2019	1	On e GnssLogger	Sim	Sim
27/01/2019	2	On e GnssLogger	Não	Sim
28/01/2019	3	On e GnssLogger	Não	Não
30/01/2019	4	Geo++ e GnssLogger	Não	Sim
31/01/2019	5	Geo++ e GnssLogger	Não	Não
01/02/2019	6	Geo++ e GnssLogger	Sim	Sim
04/02/2019	7*			

FONTE: O autor (2019).

NOTA:\* Campanha realizada com o receptor geodésico HiPer SR.

### 3.5.4 Coleta de Dados - Cenário 3

Neste cenário foram efetuadas campanhas de coleta de dados sobre a pista de atletismo da UFPR (FIGURA 11), obtendo trajetórias sobre a linha descrita pela intersecção das raias 5 e 6 (FIGURA 21). A duração aproximada de cada campanha foi de 20 minutos.

FIGURA 21 - COLETA DE DADOS SOBRE A PISTA DE ATLETISMO



FONTE: O autor (2019).

A largura de cada raia é de aproximadamente 1,20 metros, e a linha branca que representa a intersecção entre ambas, possui uma largura de cerca de 5 cm.

Além do Mi 8 foi utilizado o receptor geodésico com o intuito de obter a trajetória de “referência” durante a maioria das campanhas, assim, ambos foram instalados sobre a haste (FIGURA 22), que por sua vez, foi posicionada sobre a extremidade do bastão. Campanhas de coleta de dados utilizando apenas com o Mi 8 também foram efetuadas.

FIGURA 22 - MI 8 E RECEPTOR GEODÉSICO POSICIONADOS SOBRE A HASTE



FONTE: O autor (2019).

Ao todo foram realizadas 27 campanhas, divididas em 3 campanhas gerais (C.G.), denominadas de C, D, E; realizadas nos dias 18, 19 e 20 de janeiro de 2019. Ainda, cada campanha foi subdividida em nove (S.C.- sub campanhas), conforme indicado na TABELA 11. Destaca-se que a campanha geral “E”, foi realizada apenas com o Mi 8.

TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS REFERENTES ÀS COLETAS DE DADOS REALIZADAS NO CENÁRIO 3

(continua)

Data	C.G	S.C	Aplicativo	AGNSS	CAG	Equipamento
18/01/19	C	1	On e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8 e HiPer
18/01/19	C	2	Geo++ e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8 e HiPer
18/01/19	C	3	GPS Logger Pro e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8 e HiPer
18/01/19	C	4	On e GnssLogger	Não	Não	Mi 8 e HiPer
18/01/19	C	5	Geo++ e GnssLogger	Não	Não	Mi 8 e HiPer
18/01/19	C	6	GPS Logger Pro e GnssLogger	Não	Não	Mi 8 e HiPer

TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS REFERENTES ÀS COLETAS DE DADOS REALIZADAS NO CENÁRIO 3

(conclusão)

Data	C.G	S.C	Aplicativo	AGNSS	CAG	Equipamento
18/01/19	C	7	On e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8 e HiPer
18/01/19	C	8	Geo++ e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8 e HiPer
18/01/19	C	9	GPS Logger Pro e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	1	On e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	2	Geo++ e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	3	GPS Logger Pro e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	4	On e GnssLogger	Não	Não	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	5	Geo++ e GnssLogger	Não	Não	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	6	GPS Logger Pro e GnssLogger	Não	Não	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	7	On e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	8	Geo++ e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8 e HiPer
19/01/19	D	9	GPS Logger Pro e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8 e HiPer
20/01/19	E	1	On e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8
20/01/19	E	1	Geo++ e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8
20/01/19	E	3	GPS Logger Pro e GnssLogger	Não	Sim	Mi 8
20/01/19	E	4	On e GnssLogger	Não	Não	Mi 8
20/01/19	E	5	Geo++ e GnssLogger	Não	Não	Mi 8
20/01/19	E	6	GPS Logger Pro e GnssLogger	Não	Não	Mi 8
20/01/19	E	7	On e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8
20/01/19	E	8	Geo++ e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8
20/01/19	E	9	GPS Logger Pro e GnssLogger	Sim	Sim	Mi 8

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: C.G.: Campanha Geral; S.C.: Sub campanha

### 3.5.5 Coleta de Dados - Cenário 4

Foram realizadas três campanhas de coleta de dados na baía de Antonina-Paraná nos dias, 25, 26 e 27 de outubro de 2018.

Inicialmente foi estabelecido um sistema vertical de referência local estabelecido no píer da baía (FIGURA 23), o qual permitiu mensurar as variações do nível vertical da massa d'água durante determinados intervalos de tempo.



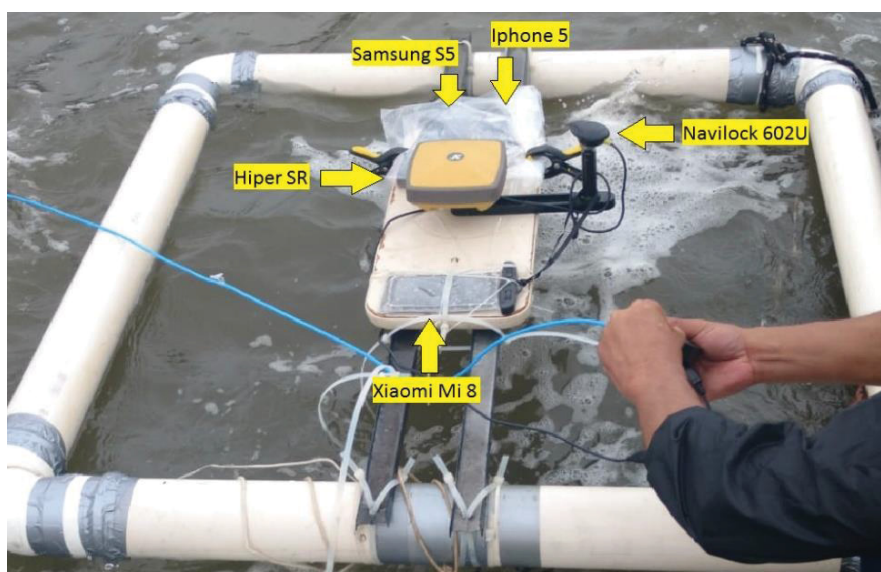
FIGURA 23 - AQUISIÇÃO DE DADOS REFERENTE A VARIAÇÕES DE NÍVEL DA MASSA D'ÁGUA NA BAÍA DE ANTONINA-PR



FONTE: O autor (2019).

O Mi 8 não possui certificado de proteção IP, isto é, o mesmo não é à prova d'água, assim, antes de posicioná-lo sobre a plataforma euleriana, o *smartphone* foi inserido no interior de um material plástico com o intuito de preservar sua integridade. Conforme ilustrado na FIGURA 24, além do Mi 8 e do receptor geodésico HiPer SR, foram posicionados outros equipamentos sobre a plataforma euleriana, porém, estes, não serão abordados na presente pesquisa.

FIGURA 24 - EQUIPAMENTOS POSICIONADOS SOBRE A PLATAFORMA EULERIANA DESENVOLVIDA NA BAÍA DE ANTONINA

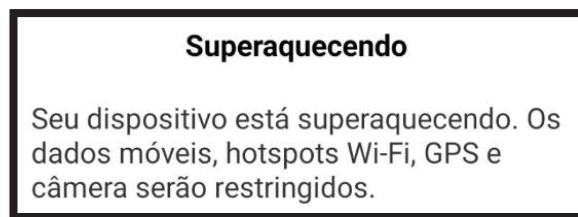


FONTE: O autor (2019).

As temperaturas máximas registradas na área de estudo durante os dias 25, 26 e 27 de Novembro, foram de aproximadamente 22, 24 e 30°C respectivamente. Além da temperatura e da sensação térmica elevada, a proteção utilizada no Mi 8 colaborou com o superaquecimento do aparelho, inviabilizando a coleta de dados sobre a plataforma.

Atualmente, a maioria dos *smartphones*, incluindo o Mi 8, são programados para restringir o uso de determinados sensores quando a temperatura do aparelho está muito elevada, dessa forma, para evitar o superaquecimento usualmente uma mensagem de alerta é emitida (FIGURA 25), e em caso da temperatura ultrapassar um limite crítico (que possa proporcionar danos aos componentes), o *smartphone* desliga-se automaticamente.

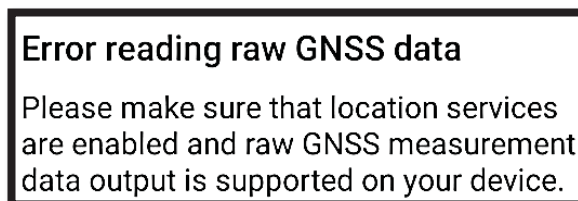
FIGURA 25 - MENSAGEM DE ALERTA DE SUPERAQUECIMENTO EMITIDA PELO MI 8



FONTE: O autor (2019).

A tentativa de coleta de dados a partir do Mi 8 foi realizada utilizando o aplicativo *Geo++ RINEX Logger*. Ao detectar que o sensor GNSS foi desativado durante a coleta de dados, o *app* emitiu um aviso informando que o sensor foi desativado, conforme ilustrado na FIGURA 26.

FIGURA 26 - AVISO EMITIDO PELO APLICATIVO *GEO++ RINEX LOGGER* REFERENTE A DESATIVAÇÃO DO SENSOR GNSS



FONTE: O autor (2019).

### 3.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Todos os processamentos foram efetuados empregando-se os arquivos RINEX, os quais foram convertidos para a versão 2.11, visando manter a compatibilidade com o serviço online IBGE-PPP.

#### 3.6.1 Processamento dos dados – Testes preliminares

Os processamentos dos dados referentes aos testes preliminares foram realizados a partir do serviço online IBGE-PPP, cujas características dos processamentos estão indicadas na TABELA 13. O intervalo de gravação de dados foi alterado através do *software* RTKLIB.

TABELA 13 – CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSAMENTOS REFERENTE AOS TESTES PRELIMINARES EMPREGANDO O SERVIÇO ONLINE IBGE-PPP

Data	Duração	Constelação	M.E (°)	I.G.D (s)	Efeméride
18/10/2018	1h e 30min	GPS+GLONASS	10	1	Final
18/10/2018	1h e 30min	GPS	10	1	Ultra rápida
18/10/2018	1h e 30min	GPS+GLONASS	10	1	Ultra rápida
18/10/2018	1h e 30min	GPS+GLONASS	10	1	Rápida
11/10/2018	3h	GPS+GLONASS	10	1	Final
11/10/2018	3h	GPS+GLONASS	10	1	Rápida
11/10/2018	3h	GPS+GLONASS	10	15	Final
11/10/2018	3h	GPS+GLONASS	10	15	Rápida
11/10/2018	3h	GPS+GLONASS	10	15	Ultra rápida
12/10/2018	4h	GPS+GLONASS	10	1	Rápida
12/10/2018	4h	GPS+GLONASS	10	1	Final
12/10/2018	4h	GPS+GLONASS	10	15	Ultra rápida
12/10/2018	4h	GPS+GLONASS	10	15	Rápida
12/10/2018	4h	GPS+GLONASS	10	15	Final
12/10/2018	4h	GPS	10	15	Ultra rápida

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: M.E.: Máscara de Elevação; I.G.D.: Intervalo de Gravação de Dados.

#### 3.6.2 Processamento dos dados - Cenário 1

Ao todo foram realizados 17 processamentos gerais (PG), cada qual com um número determinado de campanhas (Seção 3.5.2) e características. Ocorreram processamentos utilizando o GPS, GPS e GLONASS e GPS, GLONASS e Galileo,



bem como, empregando diferentes frequências e efemérides. Dessa forma, foram efetuados cerca de 277 processamentos individuais.

A partir do *software* Infinity foi configurado o método de posicionamento relativo estático, cuja estação base utilizada, foi a estação RBMC-UFPR, formando linhas de base extremamente curtas (~25 m).

A TABELA 14 apresenta as principais características dos processamentos efetuados em modo estático pelos *softwares* Infinity, RTKLIB e IBGE-PPP.

TABELA 14 – CARACTERÍSTICAS DOS PROCESSAMENTOS REALIZADOS NO CENÁRIO 1

Software	PG.	NC.	Constelação	Sinal	M.E	Efeméride
Infinity	1	17	GPS	L1	15 °	Precisa
Infinity	2	17	GPS	L1 e L5	15 °	Precisa
Infinity	3	17	GPS	L1 e L5	10 °	Precisa
Infinity	4	17	GPS e GLONASS	L1	10 °	Rápida
Infinity	5	17	GPS e GLONASS	L1	10 °	Precisa
Infinity	6	17	GPS e GLONASS	L1 e L5	10°	Precisa
Infinity	7	17	GPS e GLONASS	L1 e L5	15 °	Rápida
Infinity	8	17	GPS e GLONASS	L1 e L5	15 °	Precisa
Infinity	9	13	GPS, GLONASS e Galileo	L1, L5, E1 e E5	15 °	Rápida
Infinity	10	13	GPS, GLONASS e Galileo	L1, L5, E1 e E5	15 °	Precisa
RTKLIB	11	15	GPS e GLONASS	L1	10 °	Precisa
RTKLIB	12	15	GPS	L1	10 °	Precisa
RTKLIB	13	15	GLONASS	L1	10 °	Precisa
IBGE-PPP	14	17	GPS	L1	10 °	Precisa
IBGE-PPP	15	17	GPS e GLONASS	L1	10 °	Rápida
IBGE-PPP	16	17	GPS e GLONASS	L1	10 °	Precisa
IBGE-PPP	17	19	GPS e GLONASS	L1	10 °	Precisa

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: PG.: Processamento Geral; NC.: Número de Campanhas; M.E.: Máscara de Elevação.

O processamento geral “17” foi realizado utilizando os 19 arquivos RINEX, com duração de 60 minutos, gerados durante a campanha realizada no dia 13 de fevereiro sobre o vértice SO.

Nos processamentos realizados a partir do *software* RTKLIB, foram utilizados parâmetros e modelos similares aqueles empregados pelo IBGE-PPP. Os modelos utilizados nos processamentos incluem: coeficientes de carga oceânica Fes2004 (Obtido em: <http://bit.ly/2Rwe8RR>), correção do efeito de movimento do polo (EOP) e modelo ionosférico COD (Obtido em: <https://go.nasa.gov/2Y7dJrv>).

A FIGURA 27 ilustra algumas das características gerais empregadas nos processamentos a partir do *software* RTKLIB (versão 2.4.2).

FIGURA 27 - CARACTERÍSTICAS DO PROCESSAMENTO GERAL "15" REALIZADO A PARTIR DO SOFTWARE RTKLIB (VERSÃO 2.4.2)

Setting1	Setting2	Output	Stats	Positions	Files	Misc
Positioning Mode	PPP Static					
Frequencies / Filter Type	L1	Forward				
Elevation Mask (°) / SNR Mask (dBHz)	10	...				
Rec Dynamics / Earth Tides Correction	OFF	Solid/OTL				
Ionosphere Correction	Estimate STEC					
Troposphere Correction	Saastamoinen					
Satellite Ephemeris/Clock	Precise					
<input checked="" type="checkbox"/> Sat PCV <input checked="" type="checkbox"/> Rec PCV <input checked="" type="checkbox"/> PhWindup <input type="checkbox"/> Reject Ed <input type="checkbox"/> RAIM FDE						
Excluded Satellites (+PRN: Included)						
<input checked="" type="checkbox"/> GPS <input checked="" type="checkbox"/> GLO <input type="checkbox"/> Galileo <input type="checkbox"/> QZSS <input type="checkbox"/> SBAS <input type="checkbox"/> BeiDou						

FONTE: O autor (2019).

### 3.6.3 Processamento dos dados – Cenário 2

Os pós-processamentos dos dados coletados no Cenário 2 foram efetuados em modo cinemático, porém apenas os arquivos coletados com o aplicativo *rinex On* foram processados corretamente utilizando o serviço online IBGE-PPP. Dessa forma, também foi realizado o processamento dos dados através do *software* Infinity, utilizando como estação de referência a estação RBMC-UFPR, formando linhas de base extremamente curtas (~25 m).

Com o intuito de verificar o comportamento do sensor GNSS em modo cinemático, mas posicionado de forma estática, foi realizado o pós-processamento referente a campanha realizada no Cenário 1 com duração de 12 horas (Seção 3.5.2).

Além disso, foram realizados pós-processamentos a partir do *software* Infinity, mediante o emprego de diferentes intervalos de gravação de dados visando obter soluções menos ruidosas.

Os pós-processamentos efetivados a partir do *software* Infinity foram realizados empregando as seguintes características:

- Máscara de elevação: 10°;

- Constelações: GPS e GLONASS;
- Intervalos de gravação de dados: 15, 30 e 60 segundos;
- Estação de referência: RBMC-UFPR.

### 3.6.4 Processamento dos dados – Cenário 3

Os arquivos RINEX obtidos durante as campanhas realizadas no Cenário 3, foram pós-processados a partir do *software* Infinity. Foi efetuado o método de posicionamento relativo cinemático e as características dos processamentos correspondem ao Processamento Geral 8 ilustrado na TABELA 14 (Seção 3.6.2).

A estação de referência utilizada no processamento corresponde a outro receptor geodésico HiPer SR posicionado sobre o Pilar 2000, formando linhas de base curtas (~1 km).

### 3.7 PRÉ-ANÁLISE – SISTEMA DE REFERÊNCIA

A partir do *software* Infinity foi estabelecido um sistema de referência UTM (*Universal Transversal Mercator*), denominado SIRGAS\_UTM22S, compatível com os parâmetros estabelecidos para o SIRGAS2000 e que contempla a respectiva área de estudo (ex.: fuso UTM 22 Sul).

Este sistema foi estabelecido com o intuito de padronizar as coordenadas geodésicas em um mesmo sistema. Além disso, as coordenadas expressas em unidades métricas tornam as análises mais intuitivas quando comparadas as unidades expressas em graus decimais.

Após o processamento o IBGE-PPP cria um arquivo em formato PDF (*Portable Document Format*) contendo diversas informações referente ao processamento, inclusive as coordenadas geodésicas em SIRGAS2000 para a data do levantamento e para a época 2000.4 (época utilizada).

Posteriormente aos pós-processamentos realizados a partir do *software* RTKLIB, as respectivas coordenadas geodésicas foram inseridas no *software* Transformações de Sistemas Geodésicos Garnés (2019), transformando-as para a época 2000.4. Por fim, todas as coordenadas geodésicas foram estabelecidas sobre o mesmo referencial e para a mesma época (2000.4).

### 3.8 MODELOS MATEMÁTICOS

Os modelos matemáticos utilizados nas análises foram estabelecidos com base em GEMAEL (2015) e MONICO et al. (2009). Em seguida serão apresentados os modelos matemáticos empregados:

a) Cálculo das discrepâncias

$$\text{Discrepância} = \text{Coordenada de referência} - \text{Coordenada Calculada} \quad (2)$$

b) Cálculo e análise de tendência

$$\text{Tendência} = \text{Média das Discrepâncias} = \frac{\sum \text{Discrepâncias}}{\text{número de observações}} \quad (3)$$

Caso ocorra tendência nas observações deve-se avaliar se ela é significativa ou não, esta análise é realizada verificando se a média das discrepâncias pode ser considerada igual a zero. Dessa forma, aplicando o teste t de student, são definidas as hipóteses:

$$H_0: \text{Tendência} = 0 \text{ (Hipótese Nula)} \quad (4)$$

$$H_1: \text{Tendência} \neq 0 \text{ (Hipótese Alternativa)} \quad (5)$$

A hipótese é definida tomando como base a média  $\bar{x}$  (tendência), o desvio padrão  $\sigma$  e o nível de significância  $\alpha$  considerado, conforme:

$$P\left(\bar{x} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}}z \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}}z\right) = 1 - \alpha \quad (6)$$

Se o valor estimado para a média  $\mu$  estiver inserido nesse intervalo, considera-se que não há tendência ao nível de probabilidade  $1 - \alpha$ . Logo, como o modelo empregado foi baseado nas discrepâncias, o valor representado como o verdadeiro foi igual a zero.

A distribuição utilizada foi a t de Student. Todas as análises foram realizadas considerando nível de significância igual a 95%.

c) Desvio Padrão de uma observação isolada ( $\sigma_i$ )

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum(\text{observação}-\text{média})^2}{(n-1)}} \quad (7)$$

d) Precisão da média amostral ( $\sigma_x$ )

$$\sigma_x = \frac{\sigma_i}{\sqrt{\text{número de observações}}} \quad (8)$$

e) Cálculo da acurácia

A acurácia calculada diz respeito ao Erro Médio Quadrático (EMQ), dado por:

$$\text{Acurácia} = \text{EMQ} = m^2 = \sigma_p^2 + (b)^2 = (\sigma_x)^2 + (\text{Tendência})^2 \quad (9)$$

Ao observar a equação anterior, nota-se que quando um conjunto de medidas não apresenta erros sistemáticos (tendências), os valores de acurácia e precisão se confundem.

A acurácia planimétrica e planialtimétrica é obtida, respectivamente, pelas equações 10 e 11.

$$\text{Acurácia 2D} = \sqrt{(\text{Acurácia Este})^2 + (\text{Acurácia Norte})^2} \quad (10)$$

$$\text{Acurácia 3D} = \sqrt{(\text{Acurácia Este})^2 + (\text{Acurácia Norte})^2 + (\text{Acurácia Alt. Elip.})^2} \quad (11)$$

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos com os processamentos realizados, as análises estatísticas empregadas e as respectivas considerações.

### 4.1 COORDENADAS GEODÉSICAS DE REFERÊNCIA DOS VÉRTICES DE INTERESSE

Para obter as coordenadas geodésicas de referência dos respectivos vértices de interesse foram realizadas campanhas de coleta de dados de aproximadamente 4 horas utilizando o receptor geodésico HiPer SR. Os pós-processamentos dos dados foram realizados a partir do *software* Infinity obtendo-se soluções fixas e sem saltos de ciclos.

A TABELA 15 apresenta as coordenadas geodésicas de referência dos respectivos vértices estabelecidos sobre a base superior do Pilar 2000.

TABELA 15 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS VÉRTICES DE INTERESSE (SIRGAS2000 – ÉPOCA 2000.4)

Vértice	Este (m)	$\sigma E$ (m)	Norte (m)	$\sigma N$ (m)	Alt. (m)	$\sigma \text{Alt.}$ (m)
Origem*	677856,100	0,0001	7184200,367	0,0001	927,267	0,0001
NO	677856,040	0,0001	7184200,557	0,0001	927,267	0,0001
SO	677855,950	0,0001	7184200,226	0,0001	927,267	0,0001
SE	677856,287	0,0001	7184200,289	0,0001	927,267	0,0001

FONTE: O autor (2019).

NOTA: \* Dispositivo de centragem forçada fixado sobre a base superior do pilar.

LEGENDA:  $\sigma$ : Desvio padrão do processamento; Alt.: Altitude Elipsoidal.

### 4.2 DISCREPÂNCIAS PLANIALTIMÉTRICAS – TESTES PRELIMINARES

A TABELA 16 exhibe as coordenadas geodésicas obtidas mediante os pós-processamentos dos dados coletados nos testes preliminares. No entanto, vale destacar que o *smartphone* estava posicionado horizontalmente sobre a base do pilar, cuja distância máxima referente à extremidade do Mi 8 em relação ao dispositivo de centragem forçada foi de 11 cm, conforme ilustrado na FIGURA 15 (Seção 3.5.1).

TABELA 16 – COORDENADAS GEODÉSICAS REFERENTE AOS TESTES PRELIMINARES OBTIDAS ATRAVÉS DO SERVIÇO IBGE-PPP (SIRGAS2000 – ÉPOCA 2000.4)

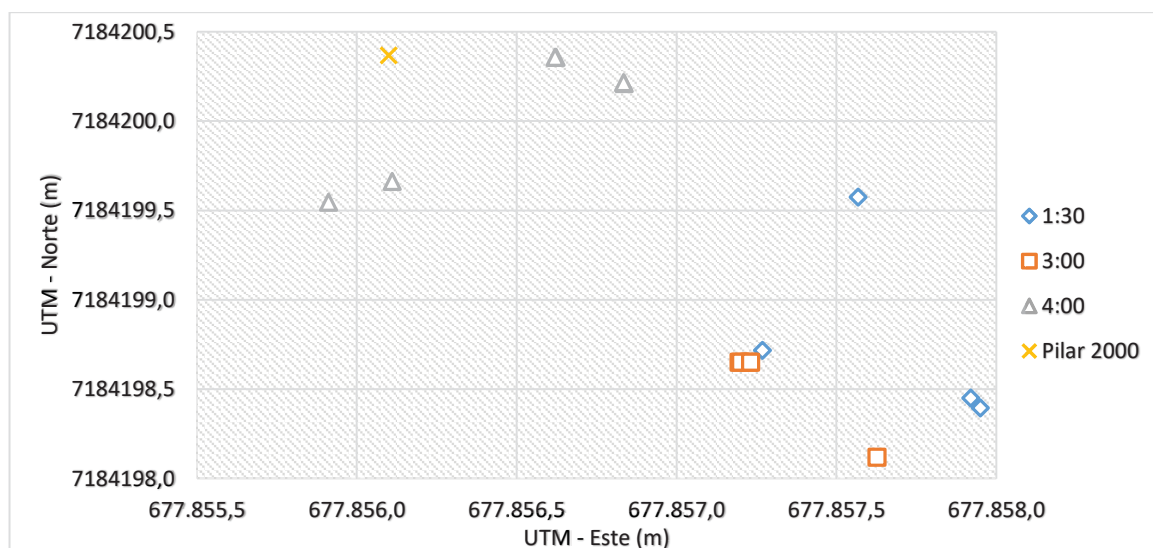
Data	Duração	C.	I.G.D	Efe.	UTM N (m)	UTM E (m)	Alt. (m)
18/10	1h e 30min	GG	1s	Final	7184199,575	677857,568	927,64
18/10	1h e 30min	GG	1s	Rápida	7184198,394	677857,950	926,92
18/10	1h e 30min	GPS	1s	Ultra rápida	7184198,717	677857,269	925,37
18/10	1h e 30min	GG	1s	Ultra rápida	7184198,450	677857,920	926,91
11/10	3h	GG	1s	Final	7184198,651	677857,196	929,14
11/10	3h	GG	15s	Final	7184198,650	677857,227	928,97
11/10	3h	GG	1s	Rápida	7184198,651	677857,201	929,16
11/10	3h	GG	15s	Rápida	7184198,650	677857,232	928,97
11/10	3h	GG	15s	Ultra rápida	7184198,119	677857,627	927,08
12/10	4h	GG	1s	Final	7184200,357	677856,623	928,33
12/10	4h	GG	15s	Final	7184200,209	677856,836	928,08
12/10	4h	GG	1s	Rápida	7184200,357	677856,620	928,32
12/10	4h	GG	15s	Rápida	7184200,216	677856,834	928,06
12/10	4h	GG	15s	Ultra rápida	7184199,662	677856,111	925,19
12/10	4h	GPS	15s	Ultra rápida	7184199,545	677855,911	926,98

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: C.: Constelação; GG: GPS e GLONASS; I.G.D: Intervalo de Gravação de Dados; Efe: Efeméride. Alt.: Altitude Elipsoidal;

A FIGURA 28 apresenta a distribuição espacial das coordenadas geodésicas indicadas na tabela anterior. Conforme ilustrado, as campanhas realizadas com duração de 4 horas estão mais próximas da origem da base superior do pilar do que aquelas com menor tempo de ocupação.

FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS COORDENADAS NORTE E ESTE REFERENTE - AOS TESTES PRELIMINARES



FONTE: O autor (2019).



A TABELA 17 apresenta as discrepâncias entre as coordenadas de referência (origem da base superior do pilar) e as coordenadas geodésicas obtidas a partir do serviço online IBGE-PPP (SIRGAS2000 - Época 2000.4).

TABELA 17 – DISCREPÂNCIAS ENTRE AS COORDENADAS GEODÉSICAS DE REFERÊNCIA E AS CALCULADAS PELO SERVIÇO IBGE-PPP REFERENTE AOS TESTES PRELIMINARES.

Data	Duração	Constelação	I.G.D	Efeméride	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta Alt.$ (m)
18/10	1h e 30m	GPS+GLONASS	1s	Final	0,792	-1,468	-0,37
18/10	1h e 30m	GPS+GLONASS	1s	Rápida	1,973	-1,850	0,35
18/10	1h e 30m	GPS	1s	Ultra rápida	1,650	-1,169	1,90
18/10	1h e 30m	GPS+GLONASS	1s	Ultra rápida	1,917	-1,820	0,36
11/10	3h	GPS+GLONASS	1s	Final	1,716	-1,096	-1,87
11/10	3h	GPS+GLONASS	15s	Final	1,717	-1,127	-1,70
11/10	3h	GPS+GLONASS	1s	Rápida	1,716	-1,101	-1,89
11/10	3h	GPS+GLONASS	15s	Rápida	1,717	-1,132	-1,70
11/10	3h	GPS+GLONASS	15s	Ultra rápida	2,248	-1,527	0,19
12/10	4h	GPS+GLONASS	1s	Final	0,010	-0,523	-1,06
12/10	4h	GPS+GLONASS	15s	Final	0,158	-0,736	-0,81
12/10	4h	GPS+GLONASS	1s	Rápida	0,010	-0,520	-1,05
12/10	4h	GPS+GLONASS	15s	Rápida	0,151	-0,734	-0,79
12/10	4h	GPS+GLONASS	15s	Ultra rápida	0,705	-0,011	2,08
12/10	4h	GPS	15s	Ultra rápida	0,822	0,189	0,29

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: I.G.D: Intervalo de Gravação de Dados;  $\Delta$ : Discrepância; N: Norte; E: Este; Alt.: Altitude elipsoidal

De acordo com a TABELA 15 observa-se que houve uma redução significativa nos valores das discrepâncias das coordenadas entre as campanhas com maior e menor tempo de coleta de dados (metros para decímetros). Contudo, vale ressaltar que os valores apresentados foram obtidos sem considerar a incerteza de 11 cm referente a posição do pilar e a extremidade do *smartphone* (Seção 3.5.1).

Foi analisada a acurácia referente às 10 campanhas realizadas com duração de 3 e 4 horas, e que utilizaram às constelações GPS e GLONASS. Os resultados são apresentados na TABELA 18.

TABELA 18 – ANÁLISE DA ACURÁCIA REFERENTE ÀS CAMPANHAS COM 3 E 4 HORAS DE DURAÇÃO - TESTES PRELIMINARES

Duração	Equação	Norte	Este	Altitude Elipsoidal
3h	Tendência	1,82 m	-1,20 m	-1,40 m
	Hipótese nula aceita?	Não	Não	Não
	Nº de Observações	5	5	5
	$\sigma_i$	0,24 m	0,19 m	0,89 m
	$\sigma_x$	0,11 m	0,08 m	0,40 m
	Acurácia	1,83 m	1,20 m	1,45 m
	Acurácia 2D	2,18 m	Acurácia 3D	2,62 m
4h	Tendência	0,21 m	-0,50 m	-0,33 m
	Hipótese nula aceita?	Sim	Não	Sim
	Nº de Observações	5	5	5
	$\sigma_i$	0,29 m	0,30 m	1,35 m
	$\sigma_x$	0,13 m	0,13 m	0,60 m
	Acurácia	0,24 m	0,52 m	0,69 m
	Acurácia 2D	0,58 m	Acurácia 3D	0,90 m

FONTE: O autor (2019).

Todas as coordenadas geodésicas obtidas nas campanhas com duração de 3 horas apresentaram, dentro de um nível de significância de 95%, uma tendência significativa (expressiva). Nas campanhas com 4 horas de duração, apenas a coordenada Este apresentou tendência significativa para o nível de probabilidade adotado. Ainda, observa-se que o desvio padrão das observações isoladas referente às altitudes elipsoidais foi superior a 1 m.

De acordo com a TABELA 18 observa-se que a acurácia das coordenadas geodésicas com duração de 3 horas foi da ordem de metros, enquanto que com 4 horas de duração, a acurácia foi da ordem decimétrica. Este ganho corresponde a aproximadamente 87%, 57% e 52%, respectivamente, para as coordenadas Norte, Este e Altitude Elipsoidal. Ao analisar a acurácia planimétrica (2D) e planialtimétrica (3D) houve ganhos de 73% e 66%, respectivamente.

#### 4.3 ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA NO CENÁRIO 1

##### 4.3.1 Resultados obtidos a partir do método de posicionamento relativo estático

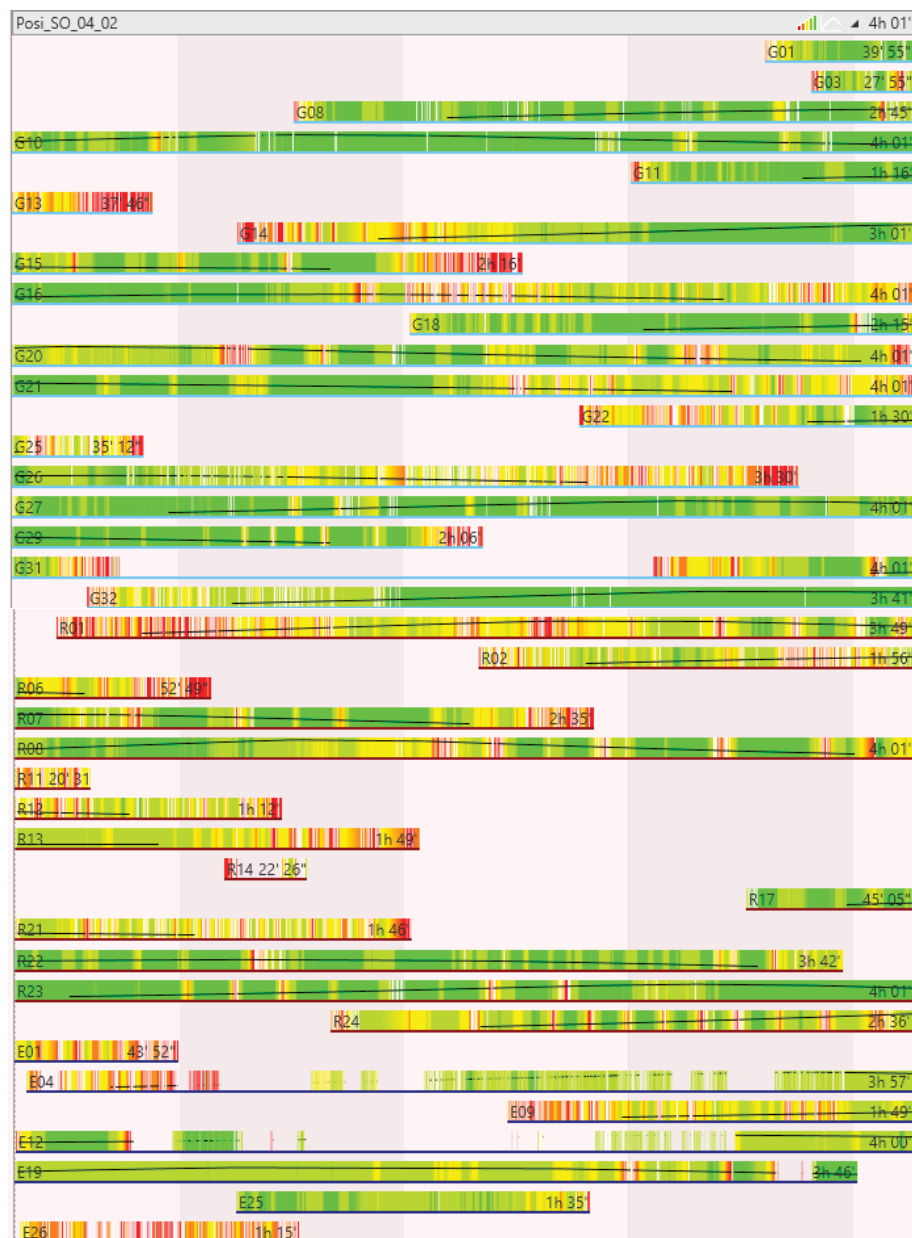
Todos os 162 processamentos realizados pelo *software* Infinity (Seção 3.6.2), resultaram em soluções flutuantes, ou seja, sem fixação de ambiguidades. Um dos

fatores que pode justificar este resultado, diz respeito às falhas constantes nos sinais rastreados durante as coletas de dados.

A FIGURA 29 ilustra as descontinuidades nos sinais provenientes das constelações GPS, GLONASS e Galileo durante o Levantamento 2 (Seção 3.5.2). Neste caso percebe-se que houve falhas em todos os satélites rastreados.

A coloração amarela ou laranja sobre os sinais indica que o sinal rastreado apresenta muito ruído.

FIGURA 29 – DESCONTINUIDADES NOS SINAIS RASTREADOS DURANTE O LEVANTAMENTO 2 – CENÁRIO 1

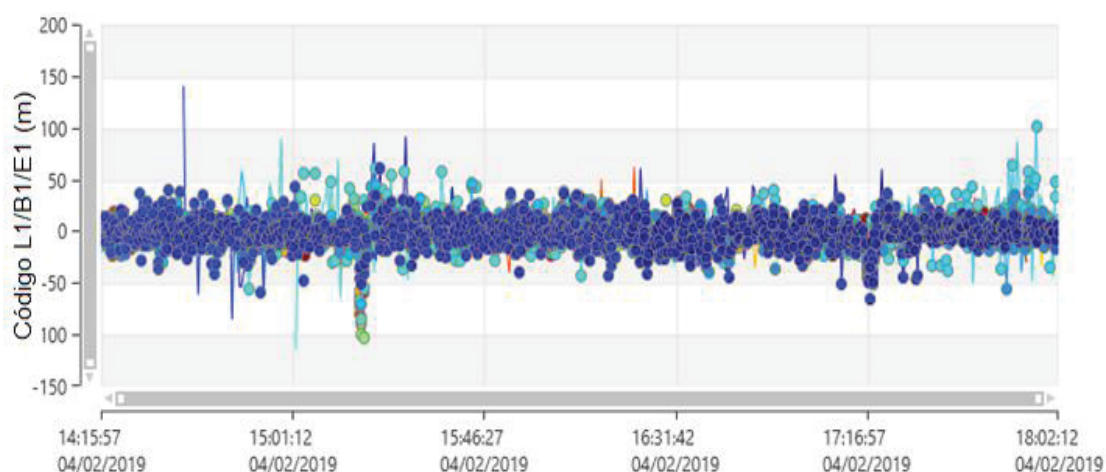


FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: G: GPS; R: GLONASS; E: Galileo

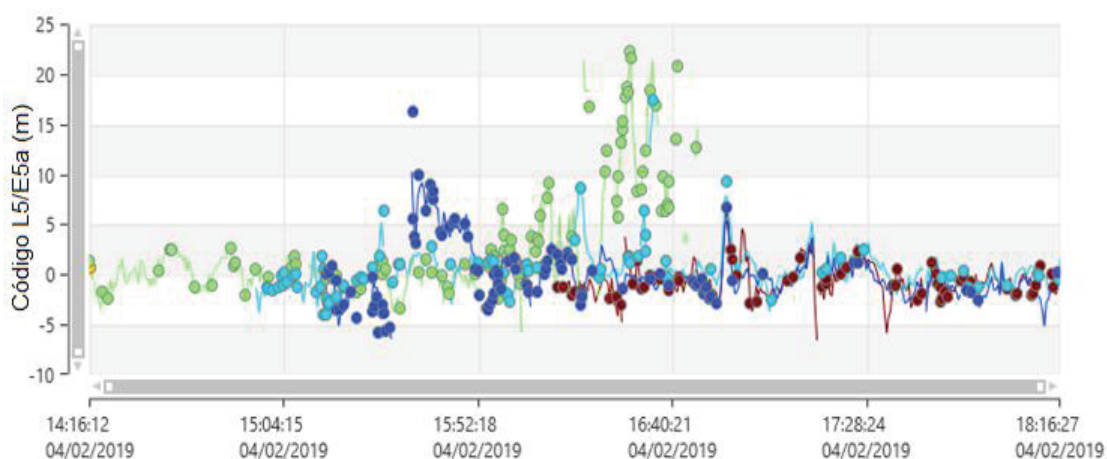
As falhas ilustradas na FIGURA 29 podem ser as responsáveis, em parte, pelo alto número de saltos de ciclos gerados após os processamentos. As figuras 30 e 31, indicam pequenos círculos que estão representando alguns dos 9270 saltos de ciclos gerados no Processamento 8 (Seção 3.6.2) referentes ao Levantamento 2 (Seção 3.5.2).

FIGURA 30 – RESÍDUOS DA DUPLA DIFERENÇA DO CÓDIGO L1/B1/E1 GERADOS NO PROCESSAMENTO 8 (LEVANTAMENTO 2) – CENÁRIO 1



FONTE: O autor (2019).

FIGURA 31 - RESÍDUOS DA DUPLA DIFERENÇA DO CÓDIGO L5/E5a GERADOS NO PROCESSAMENTO 8 (LEVANTAMENTO 2) – CENÁRIO 1



FONTE: O autor (2019).

A TABELA 19 apresenta o número de saltos de ciclos gerados no Processamento 8 em cada levantamento.

TABELA 19 – NÚMERO DE SALTOS DE CICLOS GERADOS NO PROCESSAMENTO 8

Levantamento	Identificação	Número de saltos de ciclos
1	Posi_NO_04_02	10456
2	Posi_SO_04_02	9270
3	Posi_SE_05_02_JN	9648
4	Posi_SE_05_02_OS	10295
5	Posi_NO_06_02	8965
6	Posi_SO_06_02	14928
7	Posi_NO_07_02	8175
8	Posi_SO_07_02	11312
9	Posi_SE_12_02_TX	12704
10	Posi_SE_12_02_AD	8769
11	Posi_SE_12_02_EI	10777
12	Posi_SO_13_02_KN	7536
13	Posi_SO_13_02_OR	9595
14	Posi_SO_13_02_SV	10448
15	Posi_SO_13_02_WB	10995
16	Posi_SO_13_02_CF	5594
17	Posi_NO_14_02	11826

FONTE: O autor (2019).

Em virtude das inúmeras falhas nos sinais rastreados durante as coletas de dados e do alto número de saltos de ciclos gerados nos 162 processamentos, optou-se por não realizar nenhum tratamento nos dados.

A TABELA 20 apresenta as acurácias das coordenadas geodésicas, acurácias planimétricas (2D) e as acurácias planialtimétricas (3D), obtidas para os respectivos processamentos realizados. Contudo, vale ressaltar que cada processamento apresenta um determinado número de Levantamentos, conforme apresentado na Seção 3.6.2.

TABELA 20 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA A PARTIR DO PROCESSAMENTO REALIZADO PELO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO - CENÁRIO 1

(continua)

P	Característica	Equação	Este	Norte	Altitude Elipsoidal
1	GPS	Tendência	0,18 m	-0,27 m	-1,40 m
	L1	Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
	15°	Nº de Observações	17	17	17
	Efeméride Precisa	$\sigma_i$	1,71 m	2,79 m	6,40 m
		$\sigma_x$	0,42 m	0,68 m	1,55 m
		Acurácia	0,45 m	0,73 m	2,09 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,86 m	<b>Acurácia 3D</b>	2,26 m

TABELA 20 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA A PARTIR DO PROCESSAMENTO REALIZADO PELO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO - CENÁRIO 1

(continua)

P	Característica	Equação	Este	Norte	Altitude Elipsoidal
2	GPS L1 e L5 15° Efeméride Precisa	Tendência	0,04 m	-0,37 m	0,80 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	17	17	17
		$\sigma_i$	1,29 m	2,06 m	6,36 m
		$\sigma_x$	0,31 m	0,50 m	1,54 m
		Acurácia	0,32 m	0,62 m	1,74 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,70 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,87 m
3	GPS L1 e L5 10° Efeméride Precisa	Tendência	0,16 m	0,06 m	-0,21 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	17	17	17
		$\sigma_i$	1,47 m	1,26 m	3,74 m
		$\sigma_x$	0,36 m	0,31 m	0,91 m
		Acurácia	0,39 m	0,31 m	0,93 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,50 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,06 m
4	GPS e GLONASS L1 10° Efeméride Rápida	Tendência	-0,13 m	0,05 m	-0,62 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	17	17	17
		$\sigma_i$	1,73 m	2,00 m	3,21 m
		$\sigma_x$	0,42 m	0,49 m	0,78 m
		Acurácia	0,44 m	0,49 m	1,00 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,66 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,19 m
5	GPS e GLONASS L1 10° Efeméride Precisa	Tendência	-0,09 m	0,00 m	0,03 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	17	17	17
		$\sigma_i$	1,77 m	2,11 m	3,63 m
		$\sigma_x$	0,43 m	0,51 m	0,88 m
		Acurácia	0,44 m	0,51 m	0,88 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,67 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,11 m
6	GPS e GLONASS L1 e L5 10° Efeméride Precisa	Tendência	-0,18 m	-0,06 m	-0,06 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	17	17	17
		$\sigma_i$	1,54 m	1,50 m	2,69 m
		$\sigma_x$	0,37 m	0,36 m	0,65 m
		Acurácia	0,41 m	0,37 m	0,65 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,55 m	<b>Acurácia 3D</b>	0,86 m
7	GPS e GLONASS L1 e L5 15° Efeméride Rápida	Tendência	0,07 m	-0,10 m	-0,89 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	17	17	17
		$\sigma_i$	1,60 m	1,10 m	2,86 m
		$\sigma_x$	0,39 m	0,27 m	0,69 m
		Acurácia	0,39 m	0,28 m	1,13 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,49 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,23 m

TABELA 20 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA A PARTIR DO PROCESSAMENTO REALIZADO PELO MÉTODO RELATIVO ESTÁTICO - CENÁRIO 1

(conclusão)

P	Característica	Equação	Este	Norte	Altitude Elipsoidal
8	GPS e GLONASS L1 e L5 15° Efeméride Precisa	Tendência	-0,22 m	-0,10 m	-0,46 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	17	17	17
		$\sigma_i$	1,48 m	1,24 m	3,30 m
		$\sigma_x$	0,36 m	0,30 m	0,80 m
		Acurácia	0,42 m	0,32 m	0,92 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,53 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,06 m
9	GPS, GLONASS e Galileo L1, L5, E1 e E5 15° Efeméride Rápida	Tendência	-0,32 m	0,08 m	-1,11 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	13	13	13
		$\sigma_i$	2,25 m	1,43 m	3,07 m
		$\sigma_x$	0,62 m	0,40 m	0,85 m
		Acurácia	0,70 m	0,40 m	1,40 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,81 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,62 m
10	GPS, GLONASS e Galileo L1, L5, E1 e E5 15° Efeméride Final	Tendência	-0,61 m	0,15 m	-0,99 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		Nº de Observações	13	13	13
		$\sigma_i$	2,23 m	1,52 m	3,45 m
		$\sigma_x$	0,62 m	0,42 m	0,96 m
		Acurácia	0,87 m	0,45 m	1,38 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,98 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,69 m

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: P: Processamento.

A partir da TABELA 20 são realizadas as seguintes observações:

- Comparando os resultados obtidos entre os processamentos 1 e 2, observa-se que houve ganho na acurácia de aproximadamente, 29%, 15% e 17% respectivamente, para as coordenadas Este, Norte e Altitude Elipsoidal, ao empregar a onda portadora L5 (Processamento 2). Neste contexto, também houve ganho de aproximadamente 7%, 27% e 26%, respectivamente para as coordenadas Este, Norte e Altitude Elipsoidal entre os processamentos 5 e 6.
- As coordenadas geodésicas Norte e Este, de modo geral, foram obtidas com acurácia da ordem decimétrica, no entanto, os desvios padrão das observações isoladas foram maiores que 1,10 m para as coordenadas Norte e Este, e maiores que 2,69 m na altitude elipsoidal.
- Analisando os processamentos 4 e 5 e os processamentos 7 e 8, observa-se que o emprego das efemérides finais e rápidas, não causou diferenças significativas nos resultados.



- Mediante uma análise nos valores da acurácia referente às altitudes elipsoidais, ao combinar as constelações GPS e GLONASS houve ganho de aproximadamente 47% entre os processamentos 2 e 8, e 30 % entre os processamentos 3 e 6.
- Todos os processamentos realizados pelo método relativo não apresentaram tendências significativas para o nível de confiança de 95%;
- Analisando as acurácias 2D e 3D, observa-se que o processamento 6 foi o único que resultou em valores inferiores a 1 m para a acurácia 3D, no entanto, o melhor resultado referente a acurácia 2D diz respeito aos resultados gerados pelo processamento 7.

Conforme apresentado na TABELA 20, dos 17 levantamentos realizados apenas 13 contém dados referente às três constelações (GPS, GLONASS e Galileo). Com o intuito de comparar as influências das combinações: GPS e GLONASS e GPS, GLONASS e Galileo, foi realizada uma nova análise da acurácia do processamento 7 considerando apenas os 13 levantamentos utilizados no Processamento 8.

A TABELA 20, apresenta a acurácia obtida utilizando as combinações GPS e GLONASS (P.7) e GPS, GLONASS e Galileo (P.9) e a efemérides rápida.

TABELA 21 – ACURÁCIA POSICIONAL ENTRE OS PROCESSAMENTOS 7 E 9

P	Característica	Equação	Este	Norte	Altitude Elipsoidal
7	GPS e GLONASS L1 e L5 15° Efeméride Rápida	Tendência	0,19 m	-0,07 m	-1,18 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		N. observações	13	13	13
		$\sigma_i$	1,82 m	1,14 m	3,07 m
		$\sigma_x$	0,50 m	0,32 m	0,85 m
		Acurácia	0,54 m	0,32 m	1,45 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,63 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,58 m
9	GPS, GLONASS e Galileo L1, L5, E1 e E5 15° Efeméride Rápida	Tendência	-0,32 m	0,08 m	-1,11
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		N. observações	13	13	13
		$\sigma_i$	2,25 m	1,43 m	3,07 m
		$\sigma_x$	0,62 m	0,40 m	0,85 m
		Acurácia	0,70 m	0,40 m	1,40 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,81 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,62 m

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: P.: Processamento.

Mediante uma análise nas informações contidas na TABELA 21 observa-se que não há uma diferença significativa entre as soluções, contudo, as coordenadas geodésicas mais acuradas foram obtidas a partir do processamento 7. Além disso, ambas as soluções apresentaram desvios padrão referente as observações isoladas, superiores a 1 m.

A TABELA 22, apresenta a acurácia obtida utilizando as combinações GPS (P.2), GPS e GLONASS (P.8) e GPS, GLONASS e Galileo (P.10) que empregaram o arquivo das efemérides finais.

TABELA 22 – ACURÁCIA POSICIONAL ENTRE OS PROCESSAMENTOS 2 8 E 10

P	Característica	Equação	Este	Norte	Altitude Elipsoidal
2	GPS L1 e L5 15° Efeméride Precisa	Tendência	0,09 m	-0,42 m	1,42 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		N. observações	13	13	13
		$\sigma_i$	1,47 m	2,36 m	7,18 m
		$\sigma_x$	0,41 m	0,65 m	1,99 m
		Acurácia	0,42 m	0,78 m	2,45 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,88 m	<b>Acurácia 3D</b>	2,60 m
8	GPS e GLONASS L1 e L5 15° Efeméride Precisa	Tendência	-0,19 m	-0,04 m	-0,56 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		N. observações	13	13	13
		$\sigma_i$	1,70 m	1,33 m	3,68 m
		$\sigma_x$	0,47 m	0,37 m	1,02 m
		Acurácia	0,51 m	0,37 m	1,16 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,63 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,32 m
10	GPS, GLONASS e Galileo L1, L5, E1 e E5 15° Efeméride Rápida	Tendência	-0,61 m	0,15 m	-0,99 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		N. observações	13	13	13
		$\sigma_i$	2,23 m	1,52 m	3,45 m
		$\sigma_x$	0,62 m	0,42 m	0,96 m
		Acurácia	0,87 m	0,45 m	1,38 m
		<b>Acurácia 2D (m)</b>	0,98 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,69 m

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: P: Processamento.

De acordo com as informações contidas na TABELA 20 são realizadas as seguintes considerações:

- Ao empregar apenas a constelação GPS houve ganho apenas na acurácia referente a coordenada Este, porém, este processamento gerou os piores

resultados para a coordenada Norte e, principalmente, para a altitude elipsoidal.

- Dentre os três processamentos, o processamento 8 apresentou melhores resultados para as acurácias 2D e 3D.
- Ambas as soluções não apresentaram tendências significativas, porém, todos os processamentos resultaram em desvios padrão ( $\sigma$ ) maiores que 1 m.

#### 4.3.2 Resultados obtidos a partir do método PPP – Cenário 1

Todos os 70 processamentos realizados pelo IBGE-PPP geraram soluções utilizando o código e a fase da onda portadora L1.

A TABELA 23 apresenta os resultados estatísticos referente aos processamentos realizados a partir do método PPP, gerados pelo serviço IBGE-PPP e pelo software RTKLIB.

TABELA 23 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA A PARTIR DO PROCESSAMENTO PELO MÉTODO PPP - CENÁRIO 1

(continua)

P	Característica	Equação	Este	Norte	Altitude Elipsoidal
11	RTKLIB GPS e GLONASS L1 10° Efeméride Precisa	Tendência	-0,22 m	0,30 m	0,33 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		N. observações	15	15	15
		$\sigma_i$	0,81 m	0,92 m	1,98 m
		$\sigma_x$	0,21 m	0,24 m	0,51 m
		Acurácia	0,31 m	0,38 m	0,61 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,49 m	<b>Acurácia 3D</b>	0,78 m
12	RTKLIB GPS L1 10° Efeméride Precisa	Tendência	-0,05 m	0,28 m	1,13 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Não
		N. observações	15	15	15
		$\sigma_i$	0,44 m	0,69 m	1,56 m
		$\sigma_x$	0,11 m	0,18 m	0,40 m
		Acurácia	0,12 m	0,33 m	1,20 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,35 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,25 m
13	RTKLIB GLONASS L1 10° Efeméride Precisa	Tendência	-0,42 m	0,99 m	-0,05 m
		Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
		N. observações	15	15	15
		$\sigma_i$	1,33 m	1,56 m	3,00 m
		$\sigma_x$	0,34 m	0,40 m	0,77 m
		Acurácia	0,54 m	1,07 m	0,78 m
		<b>Acurácia 2D</b>	1,20 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,43 m

TABELA 23 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA A PARTIR DO PROCESSAMENTO PELO MÉTODO PPP - CENÁRIO 1

(conclusão)

P	Característica	Equação	Este	Norte	Altitude Elipsoidal
14	PPP-IBGE	Tendência	0,07 m	-0,13 m	-0,16 m
	GPS	Hipótese nula aceita?	Sim	Não	Sim
	L1	N. observações	17	17	17
	10°	$\sigma_i$	0,61 m	0,64 m	1,40 m
	Efeméride	$\sigma_x$	0,15 m	0,15 m	0,34 m
	Precisa	Acurácia	0,61 m	0,20 m	0,38 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,64 m	<b>Acurácia 3D</b>	0,74 m
15	PPP-IBGE	Tendência	-0,04 m	0,19 m	0,08 m
	GPS e GLONASS	Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
	L1	N. observações	17	17	17
	10°	$\sigma_i$	0,81 m	0,75 m	1,29 m
	Efeméride	$\sigma_x$	0,20 m	0,18 m	0,31 m
	Rápida	Acurácia	0,20 m	0,26 m	0,32 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,33 m	<b>Acurácia 3D</b>	0,46 m
16	PPP-IBGE	Tendência	0,05 m	-0,09 m	-0,13 m
	GPS e GLONASS	Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
	L1	N. observações	17	17	17
	10°	$\sigma_i$	0,61 m	0,61 m	1,27 m
	Efeméride	$\sigma_x$	0,15 m	0,15 m	0,31 m
	Precisa	Acurácia	0,16 m	0,18 m	0,33 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,24 m	<b>Acurácia 3D</b>	0,41 m
17	PPP-IBGE	Tendência	-0,44 m	-0,14 m	-0,78 m
	GPS e GLONASS	Hipótese nula aceita?	Não	Sim	Sim
	L1	N. observações	19	19	19
	10°	$\sigma_i$	0,72 m	0,90 m	1,85 m
	Efeméride	$\sigma_x$	0,17 m	0,21 m	0,42 m
	Precisa	Acurácia	0,47 m	0,25 m	0,89 m
		<b>Acurácia 2D</b>	0,53 m	<b>Acurácia 3D</b>	1,04 m

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: P: Processamento.

Mediante análise nas informações contidas na TABELA 25, são realizadas as seguintes considerações:

- Dentre os processamentos efetuados com o *software* RTKLIB, o processamento 12, utilizando apenas a constelação GPS, gerou resultados mais acurados para as coordenadas Norte e Este e, conseqüentemente, para a acurácia 2D. Neste contexto, combinando as duas constelações GPS e GLONASS (Processamento 11) melhores resultados foram obtidos para a Altitude Elipsoidal;

- A acurácia resultante dos processamentos realizados pelo serviço IBGE-PPP apresentou resultados similares aqueles obtidos pelo software RTKLIB;
- Em todos os processamentos o desvio padrão das observações isoladas referente às altitudes elipsoidais foi superior a 1 m. Enquanto que, para as coordenadas Norte e Este, este valor foi da ordem decimétrica (com exceção do processamento 13);
- Dentre os processamentos realizados a partir do IBGE-PPP (com 17 campanhas), os resultados mais acurados foram obtidos empregando as constelações GPS e GLONASS, (Processamento 15 e 16).
- O emprego de efemérides finais não apresentou ganhos significativos nas soluções geradas com o processamento realizado pelo IBGE-PPP;
- Comparando-se a acurácia obtida pelo Processamento 17 (efetuado a partir de 19 arquivos RINEX com duração de 60 minutos), e os demais processamentos realizados pelo serviço IBGE-PPP, observa-se que as campanhas com duração maior (4 horas), resultaram em coordenadas mais acuradas.

A TABELA 24 apresenta as coordenadas geodésicas (SIRGAS2000 – época 2000.4) obtidas a partir do Processamento Geral 16 (Seção 3.6.2). Ainda, a TABELA 25 contém as discrepâncias entre as coordenadas de referências e o cálculo da acurácia propriamente dita.

TABELA 24 – COORDENADAS OBTIDAS ATRAVÉS DO SERVIÇO IBGE-PPP (SIRGAS2000 – ÉPOCA 2000.4) – PROCESSAMENTO GERAL 16.

(continua)

Levantamento	Identificação	UTM E (m)	UTM N (m)	Alt. (m)
1	Posi_NO_04_02	677.855,663	7.184.200,197	926,08
2	Posi_SO_04_02	677.855,671	7.184.199,742	925,39
3	Posi_SE_05_02_JN	677.855,647	7.184.199,671	925,16
4	Posi_SE_05_02_OS	677.854,517	7.184.199,945	928,54
5	Posi_NO_06_02	677.855,944	7.184.201,185	925,8
6	Posi_SO_06_02	677.856,052	7.184.201,294	929,1
7	Posi_NO_07_02	677.856,138	7.184.200,810	926,7
8	Posi_SO_07_02	677.856,173	7.184.200,960	927,83
9	Posi_SE_12_02_TX	677.855,467	7.184.200,785	927,2
10	Posi_SE_12_02_AD	677.856,041	7.184.200,500	926,94
11	Posi_SE_12_02_EI	677.856,349	7.184.199,711	928,44
12	Posi_SO_13_02_KN	677.856,528	7.184.200,140	928,09

TABELA 24 – COORDENADAS OBTIDAS ATRAVÉS DO SERVIÇO IBGE-PPP (SIRGAS2000 – ÉPOCA 2000.4) – PROCESSAMENTO GERAL 16.

(conclusão)

Levantamento	Identificação	UTM E (m)	UTM N (m)	Alt. (m)
13	Posi_SO_13_02_OR	677.856,723	7.184.200,922	926,94
14	Posi_SO_13_02_SV	677.856,047	7.184.200,755	928,41
15	Posi_SO_13_02_WB	677.855,972	7.184.199,695	927,41
16	Posi_SO_13_02_CF	677.856,384	7.184.200,422	928,48
17	Posi_NO_14_02	677.857,006	7.184.200,361	929,22

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: Alt.: Altitude Elipsoidal.

TABELA 25 – ACURÁCIA OBTIDA SOBRE O CENÁRIO 1 – PROCESSAMENTO GERAL 16

Levantamento	Identificação	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta$ Alt. (m)
1	Posi_NO_04_02	0,38	0,36	1,19
2	Posi_SO_04_02	0,37	0,82	1,88
3	Posi_SE_05_02_JN	0,39	0,89	2,11
4	Posi_SE_05_02_OS	1,52	0,61	-1,27
5	Posi_NO_06_02	0,34	-0,90	1,47
6	Posi_SO_06_02	0,24	-1,00	-1,83
7	Posi_NO_07_02	0,15	-0,52	0,57
8	Posi_SO_07_02	0,11	-0,67	-0,56
9	Posi_SE_12_02_TX	0,82	-0,50	0,07
10	Posi_SE_12_02_AD	-0,09	-0,27	0,33
11	Posi_SE_12_02_EI	-0,40	0,52	-1,17
12	Posi_SO_13_02_KN	-0,58	0,09	-0,82
13	Posi_SO_13_02_OR	-0,77	-0,70	0,33
14	Posi_SO_13_02_SV	-0,10	-0,53	-1,14
15	Posi_SO_13_02_WB	-0,02	0,53	-0,14
16	Posi_SO_13_02_CF	-0,43	-0,20	-1,21
17	Posi_NO_14_02	-1,06	-0,13	-1,95
Equação	Tendência	0,05 m	-0,09 m	-0,13 m
	Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
	N. observações	17	17	17
	$\sigma_i$	0,61 m	0,61 m	1,27 m
	$\sigma_x$	0,15 m	0,15 m	0,31 m
	Acurácia	0,16 m	0,18 m	0,33 m
	<b>Acurácia 2D</b>	0,24 m	<b>Acurácia 3D</b>	0,41 m

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: E: Este; N: Norte; Alt.: Altitude Elipsoidal.

## 4.4 ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA NO CENÁRIO 2

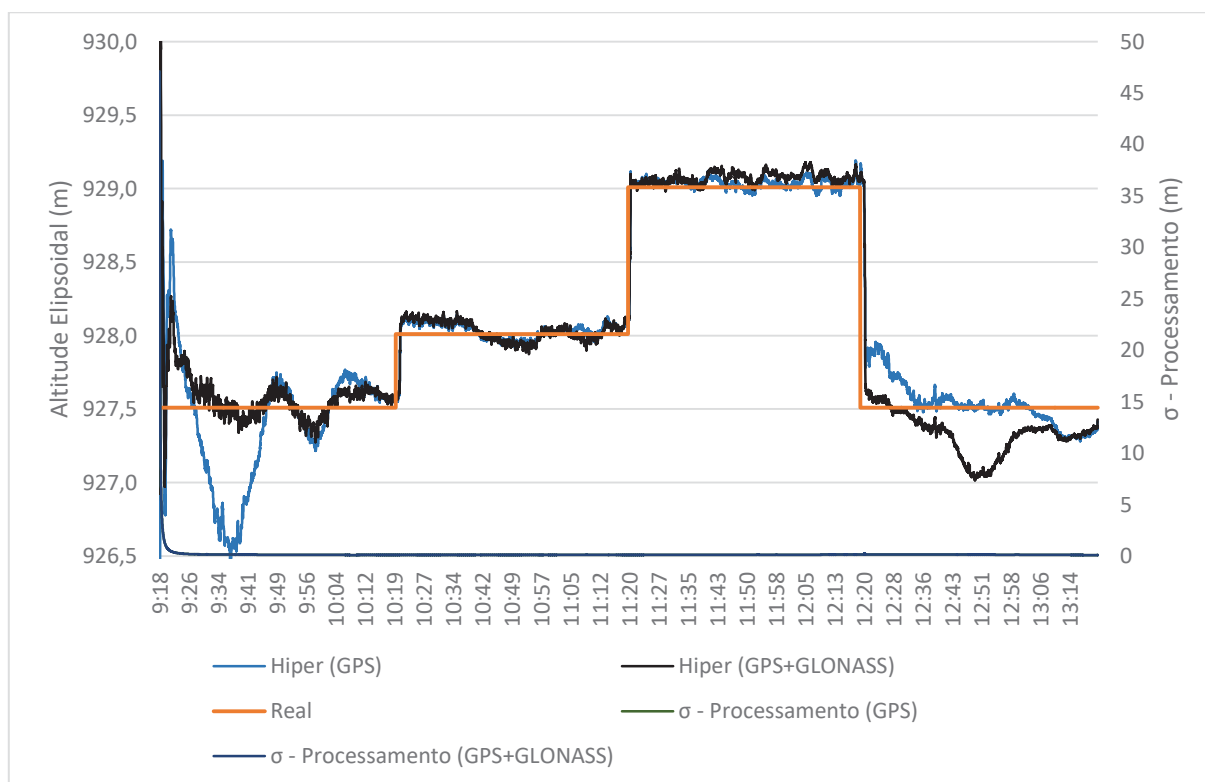
### 4.4.1 Resultados obtidos a partir do método PPP – Cenário 2

#### 4.4.1.1 Variações provocadas na altura da antena do receptor geodésico

Os resultados obtidos mediante o pós-processamento da campanha realizada em modo cinemático com o receptor geodésico, comprovam que o método possibilita a detecção das variações provocadas na altura da antena do receptor utilizado. Contudo, vale ressaltar que os processamentos pelo IBGE-PPP foram efetuados empregando as ondas portadoras L1 e L2, e utilizando a constelação GPS apenas e a combinação GPS e GLONASS.

Conforme ilustrado no GRÁFICO 7, visualmente, as altitudes elipsoidais medidas apresentam comportamento similar a altitude real, além disso, os desvios padrão gerados pelo processamento foram praticamente nulos após os 10 minutos iniciais.

GRÁFICO 7 – ALTITUDES ELIPSÓIDAIS OBTIDAS A PARTIR DO SERVIÇO IBGE-PPP - RECEPTOR GEODÉSICO HIPER SR



FONTE: O autor (2019).



De acordo com o resumo do processamento gerado pelo serviço IBGE-PPP (FIGURA 32), observa-se que os resíduos da fase da portadora foram da ordem milimétrica, enquanto que os resíduos das pseudodistâncias foram inferiores a 3 e 4 metros, respectivamente, para as constelações GPS e GLONASS.

FIGURA 32 - RESUMO DO PROCESSAMENTO REALIZADO PELO SERVIÇO IBGE-PPP (GPS+GLONASS) – VARIAÇÃO NA ALTURA DO RECEPTOR HIPER SR

```

Opcoes de processamento
Modo de Operacao do Usuario      : CINEMATICO
Observacao processada           : CODIGO&FASE
Frequencia observada            : L3
Orbitas dos satelites           : PRECISA
Intervalo de dados do Satellite : CLK-RINEX
Modelo de Ionosfera              : L1&L2          Default
Coordenadas do marco            : ESTIMADAS
Atraso Troposferico no Zenite   (ATZ): ESTIMADAS+GRADIENTS
Interpolacao do relógio         : SIM
Parametro de suavizacao         : NAO
Sistema de Referencia           : SIRGAS2000
Sistema de Coordenada           : ELIPSOIDAL
Intervalo de relógio do satellite (s): 30
Desvio Padrao da pseudodistancia (m): 5.000
Desvio Padrao da portadora      (m): 0.010
Code misc. test limit           (m): 45.000
Phase misc. test limit          (m): 0.090
Caminho aleatorio do ATZ        (mm/hr): 5.000
Tropo. Grad. rndm-walk          (mm/hr): 0.100
Distancia Marco->ARP            (m): 0.000
Angulo de Elevacao              (graus): 10.000

Sessao Observada

Nome do Marco                   : Hiper_Var_04_02_ZWVE
Inicio                          : 2019/02/04 09:18:58.00
Fim                             : 2019/02/04 13:21:22.00
Intervalo de observacao        (seg): 1.00
Intervalo no processamento     (seg): 1.00
Numero de epocas processadas    : 14545
Numero de epocas rejeitadas     : 0
Numero de satelites processados : 26
Numero de observacoes processadas : 110937 GPS
Numero de observacoes rejeitadas : 565 GPS
Numero de observacoes ponderadas : 0 GPS
Residuos da pseudodistancia     (m): 2.78 GPS
Residuos da fase da portadora   (cm): 0.83 GPS
Numero de observacoes processadas : 81631 GLONASS
Numero de observacoes rejeitadas : 268 GLONASS
Numero de observacoes ponderadas : 0 GLONASS
Residuos da pseudodistancia     (m): 3.40 GLONASS
Residuos da fase da portadora   (cm): 0.82 GLONASS

```

FONTE: O autor (2019).

Conforme apresentado na TABELA 26 a acurácia das altitudes elipsoidais medidas foi da ordem centimétrica, e o desvio padrão das observações isoladas foi de aproximadamente 20 cm.

TABELA 26 – ACURÁCIA OBTIDA PELO RECEPTOR GEODÉSICO FRENTE ÀS VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTURA DA ANTENA – CENÁRIO 2

Constelação	Equação	Altitude Elipsoidal
GPS + GLONASS	Tendência	-0,002 m
	Hipótese nula aceita?	Sim
	Nº de Observações	14545*
	$\sigma_i$	0,208 m
	$\sigma_x$	0,002 m
	Acurácia	0,002 m
GPS	Tendência	-0,002 m
	Hipótese nula aceita?	Sim
	Nº de Observações	14545*
	$\sigma_i$	0,274 m
	$\sigma_x$	0,002 m
	Acurácia	0,003 m

FONTE: O autor (2019).

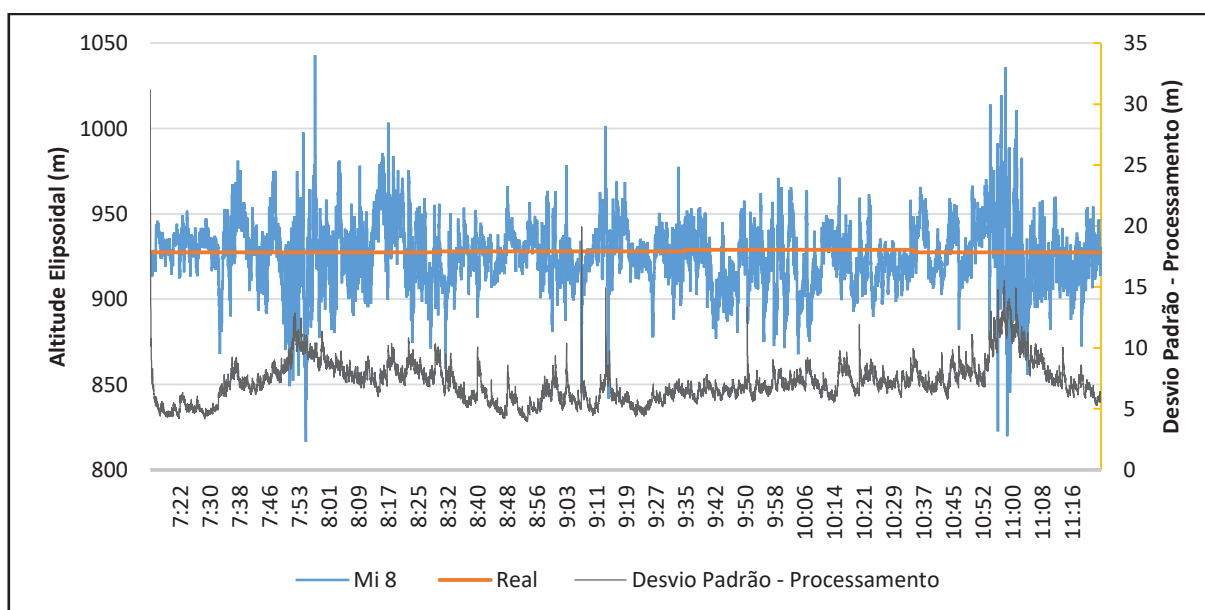
NOTA: \* Número de observações diretamente relacionada a acurácia

#### 4.4.1.2 Variações provocadas na altura do Mi 8

Apenas os dados referentes as campanhas 1, 2 e 3, coletadas com o aplicativo *rinex On*, foram processadas corretamente pelo serviço IBGE-PPP em modo cinemático. As altitudes elipsoidais medidas referentes às respectivas campanhas são apresentadas nos gráficos 8, 9 e 10.

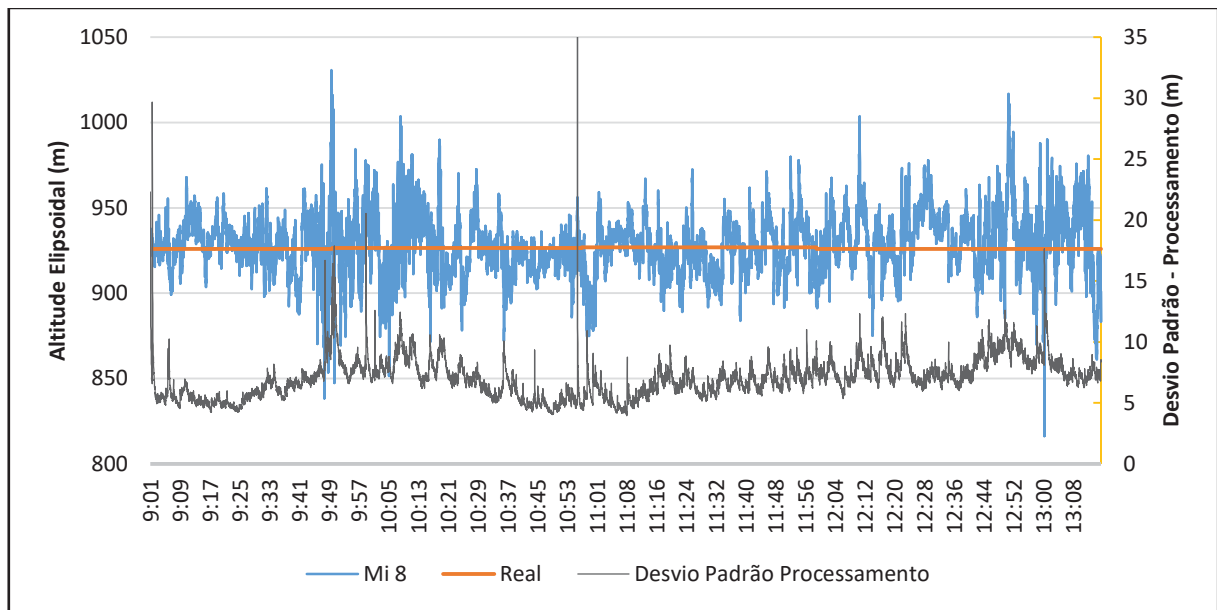
De modo geral quase todas as observações apresentam desvios padrão (resultado do processamento) superiores a 5 metros.

GRÁFICO 8 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS A PARTIR DO IBGE-PPP - CAMPANHA 1



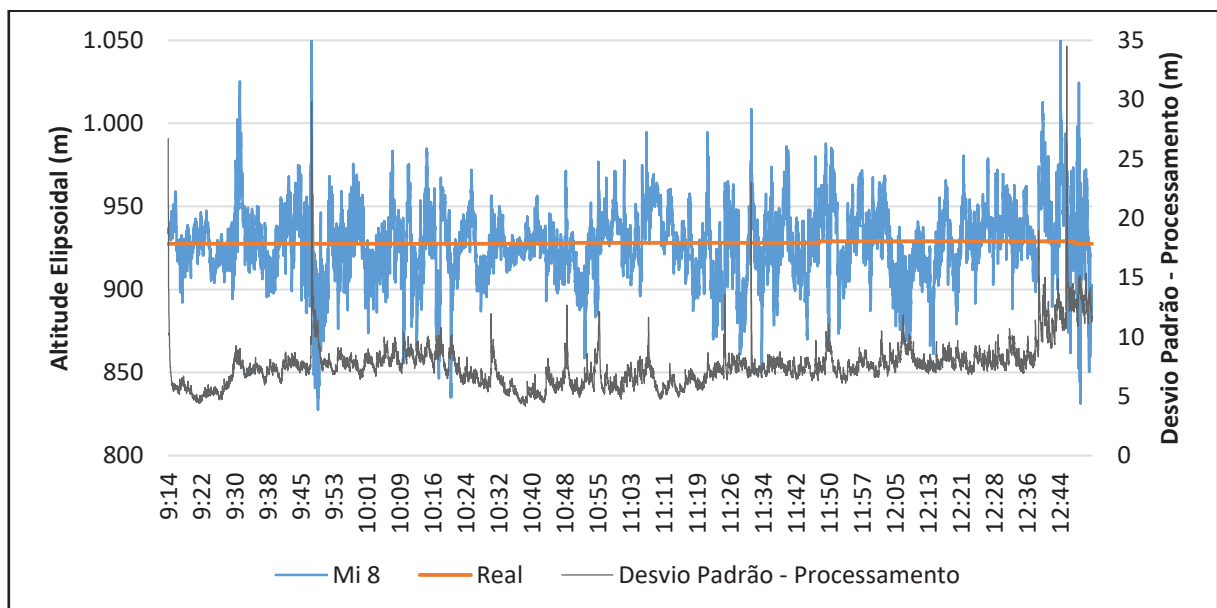
FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 9 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS A PARTIR DO IBGE-PPP - CAMPANHA 2



FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 10 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS A PARTIR DO IBGE-PPP - CAMPANHA 3

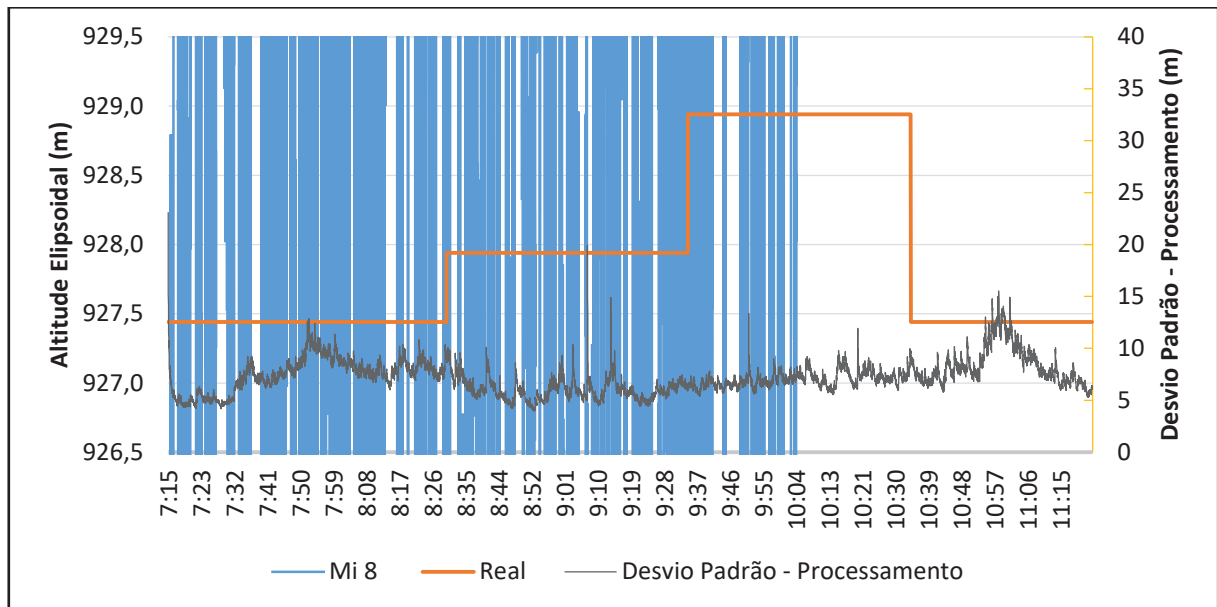


FONTE: O autor (2019).

Pode-se observar que as altitudes elipsoidais medidas a partir do IBGE-PPP, em ambas as campanhas, não apresentaram comportamento similar a altitude real. Devido a amplitude do eixo referente as altitudes elipsoidais, a altitude real se assemelha a uma linha contínua, porém, ela contempla as variações provocadas na altura do *smartphone*, conforme apresentado nos gráficos 11, 12 e 13. Em virtude do

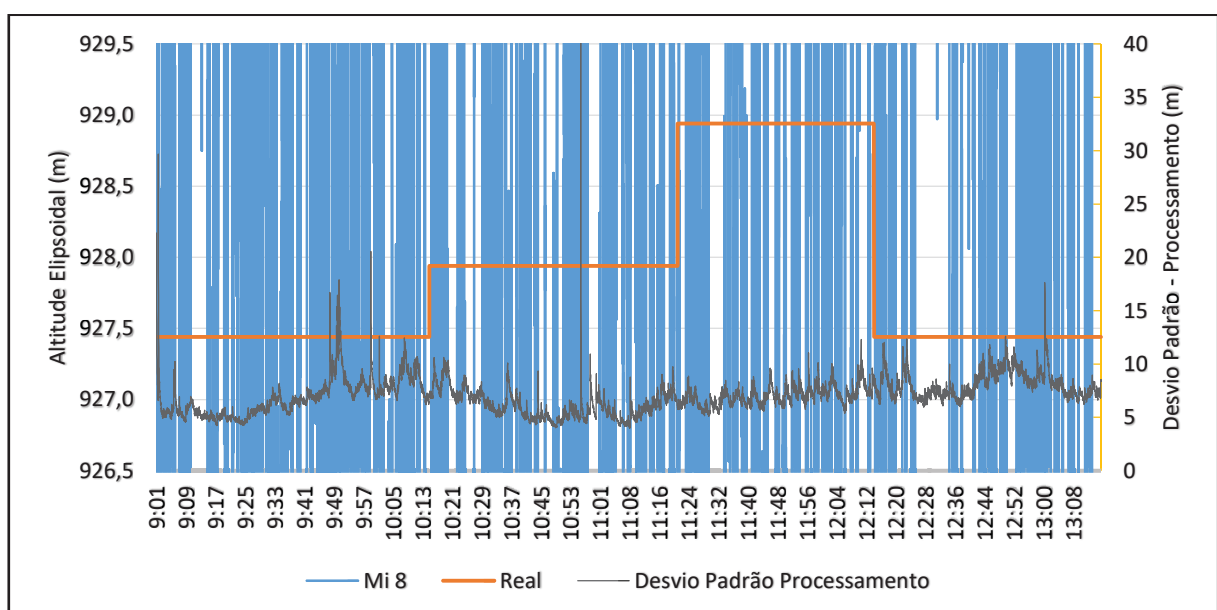
superaquecimento do *smartphone*, que ocorreu logo após a mudança na altura do bastão para a posição de origem, a Campanha 3 possui duração de apenas 3h e 30min.

GRÁFICO 11 – VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO MI 8 DURANTE A CAMPANHA 1



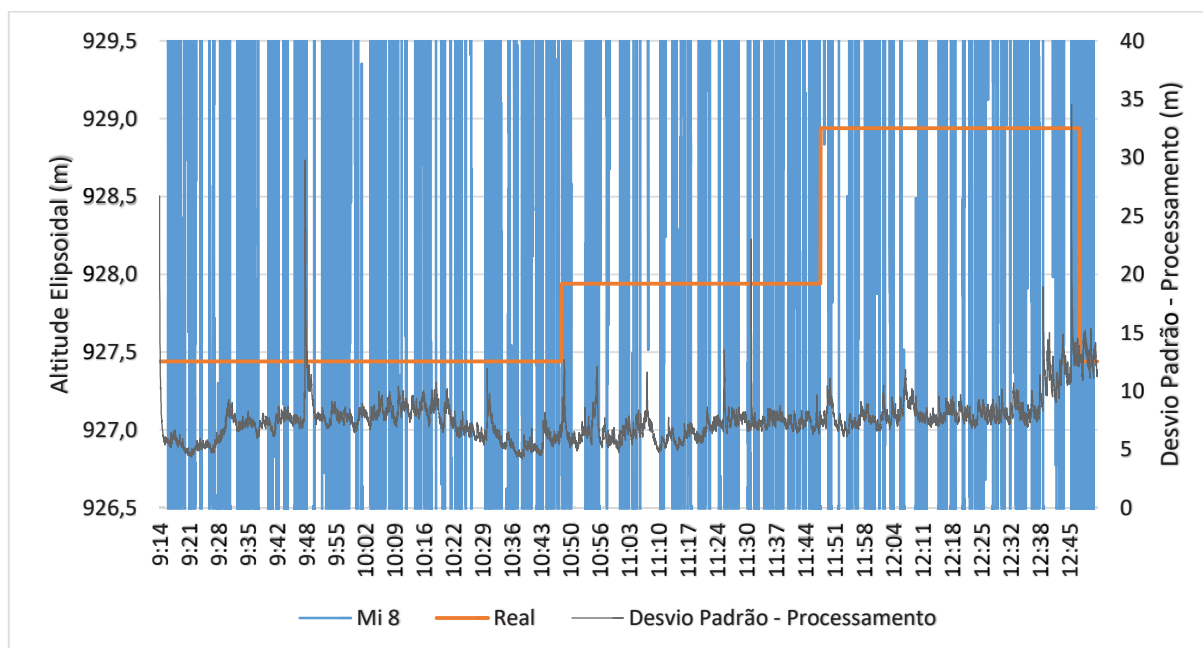
FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 12 - VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO MI 8 DURANTE A CAMPANHA 2



FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 13 - VARIAÇÕES PROVOCADAS NA ALTITUDE ELIPSOIDAL DO MI 8 DURANTE A CAMPANHA 3



FONTE: O autor (2019).

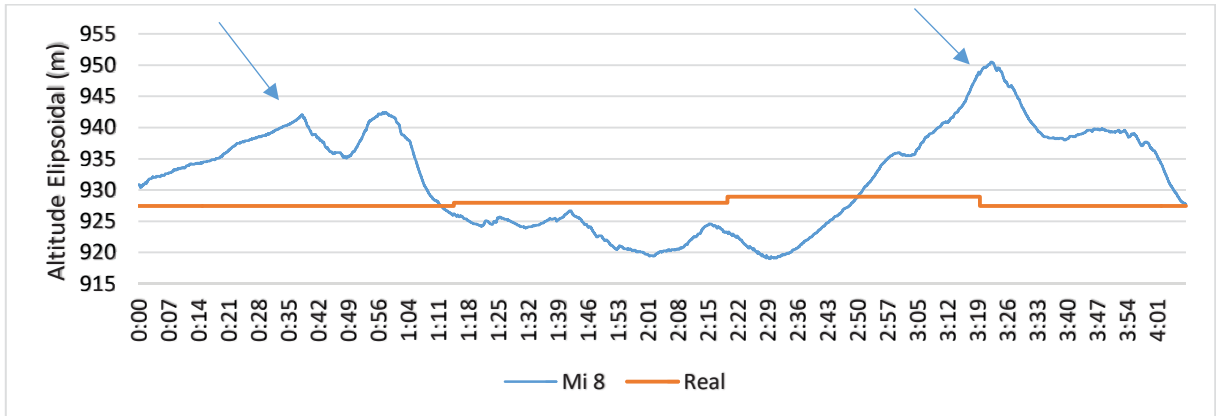
A partir dos gráficos apresentados observa-se que há muito ruído nas altitudes elipsoidais medidas a partir do método PPP em ambas as campanhas. Visualmente, a maioria dos desvios padrão gerados pelos respectivos processamentos foram superiores a 5 metros em quase todas as épocas.

Conforme mencionado na Seção 3.3.1, além do arquivo RINEX, o aplicativo *rinex On* armazena os dados da solução gerada internamente em um arquivo no formato NMEA. Dessa forma, as altitudes elipsoidais provenientes desta solução são apresentadas nos gráficos 14, 15 e 16.

As soluções geradas internamente apresentaram altitudes elipsoidais menos ruidosas. Além disso, nas regiões indicadas nos gráficos 14 e 15 pode-se dizer que houve um comportamento similar entre as campanhas 1 e 2.

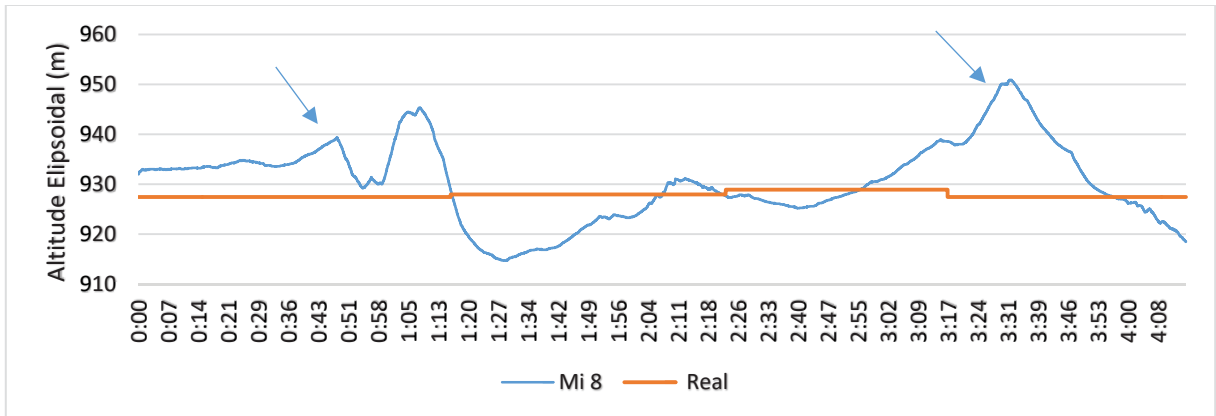
Visualmente, pode-se observar que houve uma redução significativa na altitude elipsoidal nas campanhas 1 e 2 após a mudança na altura do *smartphone*, no entanto, não se pode afirmar que este fenômeno reflete a variação de 1,5 m provocada.

GRÁFICO 14 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE – CAMPANHA 1



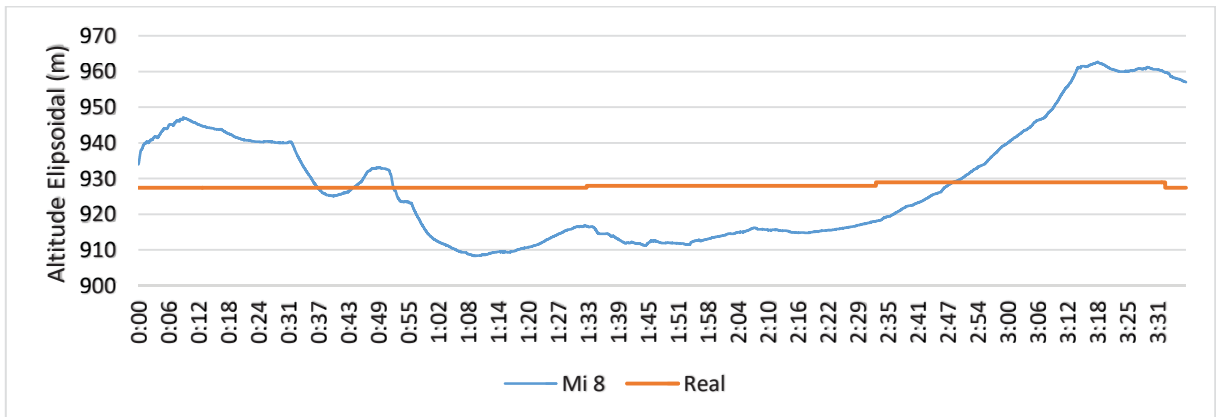
FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 15 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE – CAMPANHA 2



FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 16 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE – CAMPANHA 3



FONTE: O autor (2019).

A TABELA 27 apresenta as acurácias calculadas para as respectivas campanhas e soluções geradas, nota-se que todas apresentam tendências significativas para o nível de significância de 95%. Além disso, os desvios padrão referente às observações isoladas obtidas a partir das mensagens NMEA, foram inferiores aqueles obtidos pelo serviço IBGE-PPP.

TABELA 27 – ACURÁCIA POSICIONAL OBTIDA PELO MI 8 A PARTIR DA SOLUÇÃO GERADA INTERNAMENTE - CENÁRIO 2

Campanha	Equação	Altitude Elipsoidal – IBGE-PPP	Altitude Elipsoidal – NMEA
1	Tendência	2,17 m	-4,05 m
	Hipótese nula aceita?	Não	Não
	Nº de Observações	14930	14934
	$\sigma_i$	18,62 m	8,44 m
	$\sigma_x$	0,15 m	0,07 m
	Acurácia	2,17 m	4,05 m
2	Tendência	-0,35 m	-2,68 m
	Hipótese nula aceita?	Não	Não
	Nº de Observações	15302	15303
	$\sigma_i$	17,80 m	8,13 m
	$\sigma_x$	0,14 m	0,07 m
	Acurácia	0,38 m	2,68 m
3	Tendência	0,74 m	-0,47 m
	Hipótese nula aceita?	Não	Não
	Nº de Observações	13038	13039
	$\sigma_i$	21,22 m	16,27 m
	$\sigma_x$	0,19 m	0,14 m
	Acurácia	0,76 m	0,49 m

FONTE: O autor (2019).

#### 4.4.1.3 IBGE-PPP - Modo Cinemático

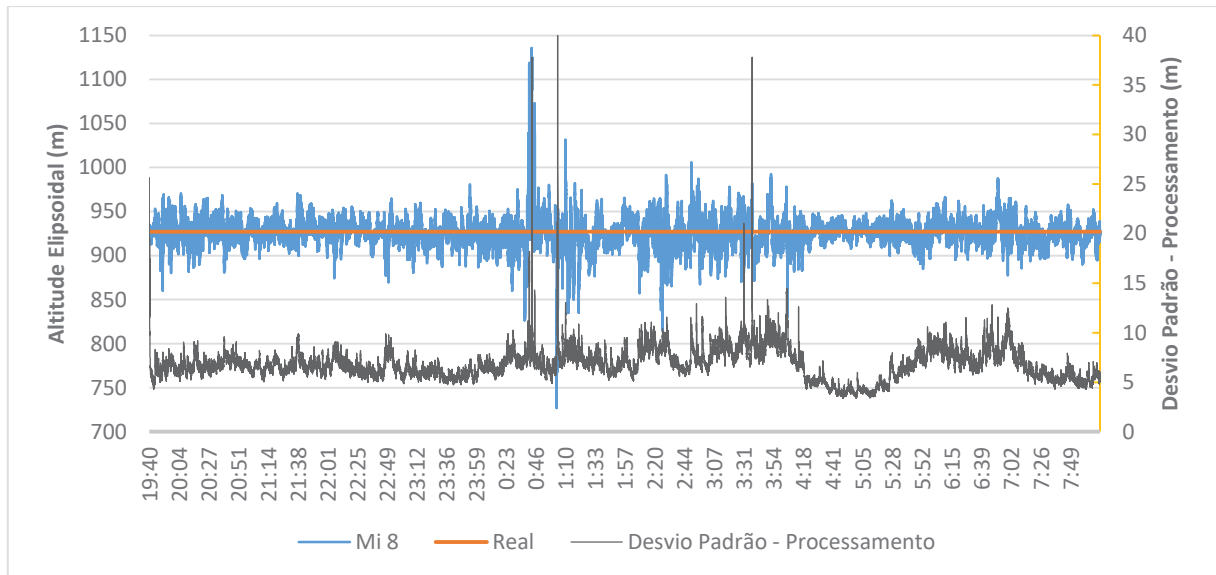
Com o intuito de verificar se os ruídos nas observações medidas foram consequências das variações provocadas na altura da antena, foi efetuado o processamento referente ao levantamento com 12 horas de duração realizado com o *smartphone* imóvel sobre o Pilar 2000 (Seção 3.5.3).

O GRÁFICO 17 apresenta as altitudes elipsoidais medidas a partir do IBGE-PPP processadas em modo cinemático. Visualmente, pode-se observar que após 5 horas de rastreamento contínuo as altitudes medidas sofreram uma variação abrupta (Horário - 00:40). Dessa forma, sugere-se que sejam realizadas novas análises com



o propósito de verificar se o erro foi consequência da união dos arquivos RINEX ou foi um fenômeno natural da observação calculada.

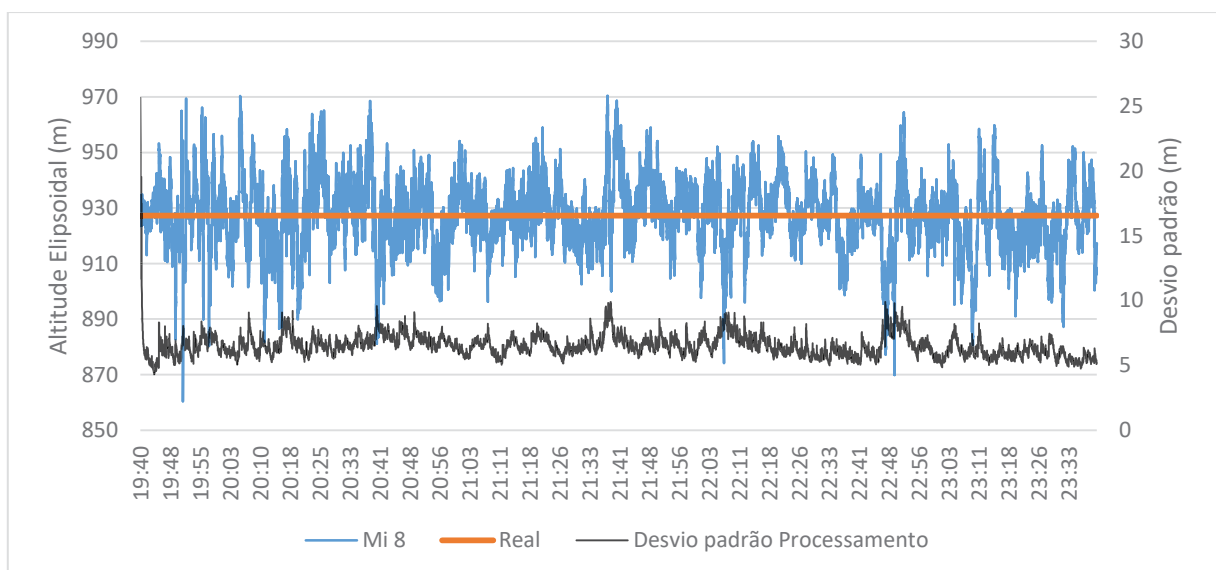
GRÁFICO 17 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS DETERMINADAS EM MODO ESTÁTICO (*SMARTPHONE* IMÓVEL) E PROCESSADAS EM MODO CINEMÁTICO PELO SERVIÇO IBGE-PPP



FONTE: O autor (2019).

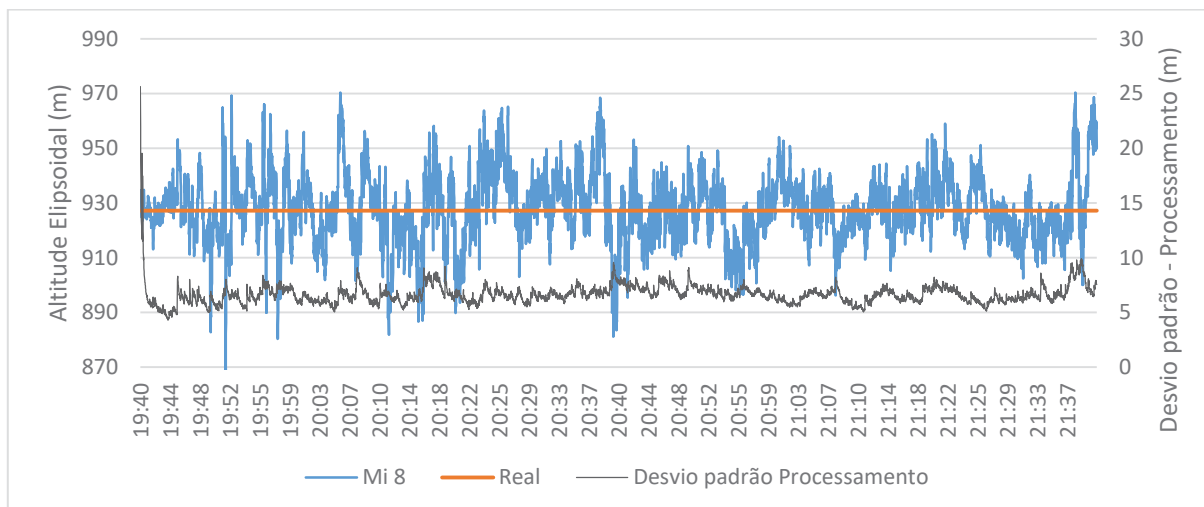
Os gráficos 18 e 19 contêm respectivamente, às 4 e 2 horas iniciais referente a solução geral com 12 horas de duração.

GRÁFICO 18 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS REFERENTE ÀS 4 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS



FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 19 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS REFERENTE ÀS 2 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS



FONTE: O autor (2019).

De acordo com os gráficos apresentados pode-se observar que os desvios padrão derivados do processamento são superiores a 5 metros na maior parte do tempo.

O resumo do processamento realizado pelo IBGE-PPP referente ao levantamento com 12 horas de duração é apresentado na FIGURA 33. De acordo com o resumo, verifica-se que as observações utilizadas foram o código e a fase da onda portadora. Os resíduos da fase da onda portadora L1 foram da ordem decimétrica em ambas as constelações, porém o resíduo da pseudodistância referente a constelação GLONASS foi duas vezes maior que o resíduo referente a constelação GPS.

FIGURA 33 - RESUMO DO PROCESSAMENTO REALIZADO A PARTIR DO IBGE-PPP - CAMPANHA COM 12 HORAS DE DURAÇÃO REALIZADA SOBRE O PILAR 2000

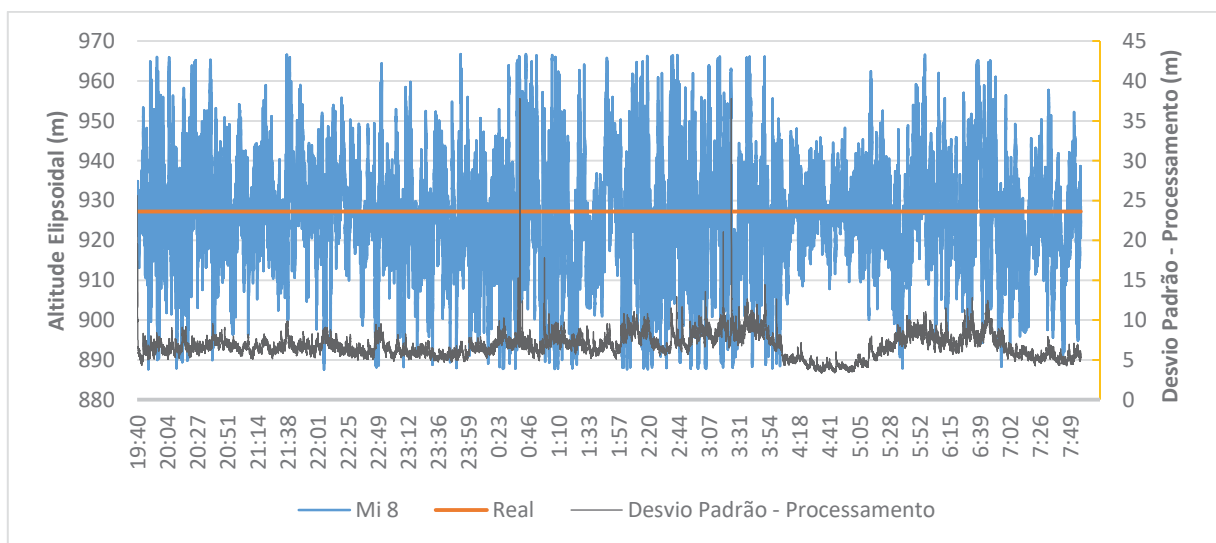
Modo de Operacao do Usuario	:	CINEMATICO		
Observacao processada	:	CODIGO&FASE	Nome do Marco	: Posi_SE_12_02
Frequencia observada	:	L1	Início	: 2019/02/12 19:40:52
Orbitas dos satelites	:	PRECISA	Fim	: 2019/02/13 08:13:18
Intervalo de dados do Satelite	:	CLK-RINEX	Intervalo de observacao (seg):	1.00
Modelo de Ionosfera	:	IONEX	Intervalo no processamento (seg):	1.00
Coordenadas do marco	:	ESTIMADAS	Numero de epocas processadas	: 45146
Atraso Troposferico no Zenite (ATZ):	:	ESTIMADAS	Numero de epocas rejeitadas	: 2
Interpolacao do relógio	:	SIM	Numero de satelites processados	: 50
Parametro de suavizacao	:	NAO	Numero de observacoes processadas	: 349515 GPS
Sistema de Referencia	:	SIRGAS2000	Numero de observacoes rejeitadas	: 163203 GPS
Sistema de Coordenada	:	ELIPSOIDAL	Numero de observacoes ponderadas	: 0 GPS
Intervalo de relógio do satellite (s):	:	30	Residuos da pseudodistancia (m):	7.17 GPS
Desvio Padrao da pseudodistancia (m):	:	5.000	Residuos da fase da portadora (cm):	53.27 GPS
Desvio Padrao da portadora (m):	:	0.300	Numero de observacoes processadas	: 205436 GLONASS
Code misc. test limit (m):	:	45.000	Numero de observacoes rejeitadas	: 149414 GLONASS
Phase misc. test limit (m):	:	2.700	Numero de observacoes ponderadas	: 0 GLONASS
Caminho aleatorio do ATZ (mm/hr):	:	5.000	Residuos da pseudodistancia (m):	14.78 GLONASS
Distancia Marco->ARP (m):	:	0.000	Residuos da fase da portadora (cm):	51.74 GLONASS
Angulo de Elevacao (graus):	:	10.000		

FONTE: O autor (2019).

Mediante análise dos gráficos apresentados, verifica-se que há muito ruído nas observações medidas. Dessa forma, foi realizada uma filtragem nos dados de acordo com a regra dos três sigmas, isto é, foram rejeitados todos os resíduos que apresentaram valores superiores a três vezes o valor do desvio padrão ( $\sigma$ ).

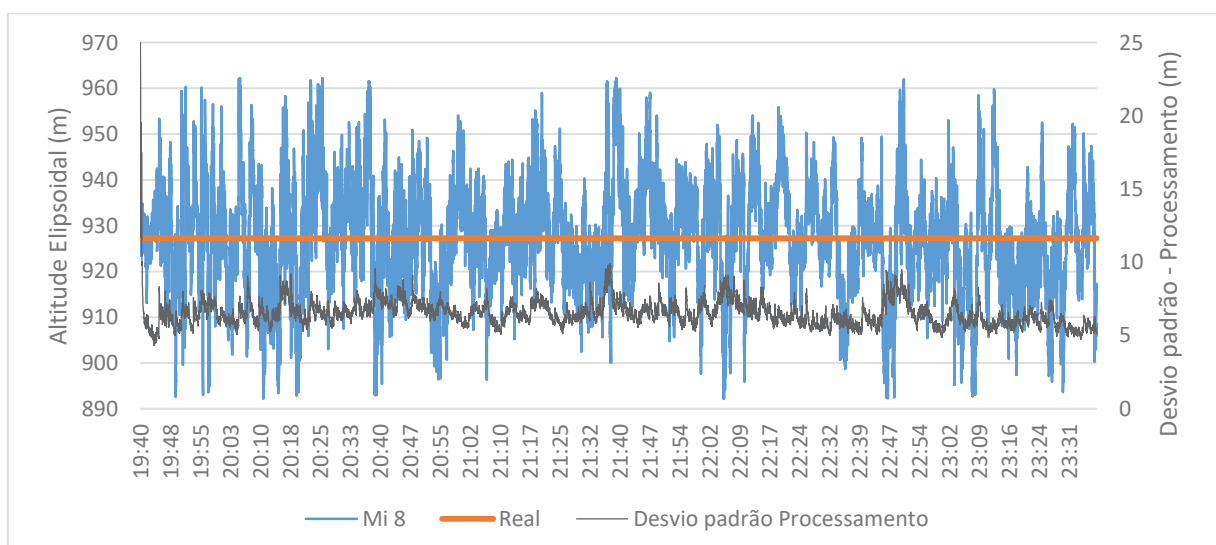
As altitudes elipsoidais filtradas referente às 12, 4 e 2 horas, são apresentadas respectivamente, nos gráficos 20, 21 e 22.

GRÁFICO 20 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS FILTRADAS REFERENTE À CAMPANHA COM 12 HORAS - REGRA DOS TRÊS SIGMAS



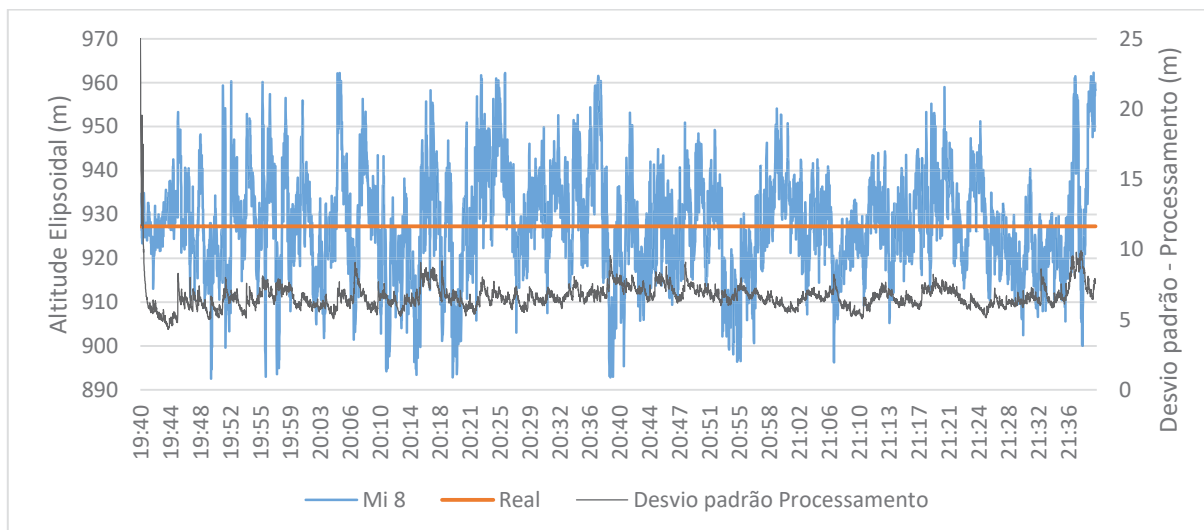
FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 21 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS FILTRADAS REFERENTE ÀS 4 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS - REGRA DOS TRÊS SIGMAS



FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 22 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS FILTRADAS REFERENTE ÀS 2 HORAS INICIAIS DA CAMPANHA COM 12 HORAS - REGRA DOS TRÊS SIGMAS



FONTE: O autor (2019).

Mediante análise dos gráficos 20, 21 e 22, observa-se que as altitudes elipsoidais medidas apresentam ruídos significativos, algo que pode ser resultado da sensibilidade do sensor GNSS no *smartphone*.

A TABELA 28 contém as análises estatísticas referente aos resultados com 12, 4 e 2 horas com e sem a filtragem dos dados. Pode-se observar que a acurácia obtida foi da ordem métrica e que a tendência das altitudes elipsoidais é significativa para o nível probabilidade adotado, com exceção da solução com as 4 horas sem filtragem. Contudo, vale destacar que a precisão relacionada as observações isoladas ( $\sigma_i$ ) foi superior a 11 metros em todas as análises.

TABELA 28 – ACURÁCIA DA ALTITUDE ELIPSOIDAL OBTIDA A PARTIR DO IBGE-PPP REFERENTE A 12 HORAS DE COLETA DE DADOS EM MODO CINEMÁTICO

(continua)

Horas	Equação	Alt. Elip. - Sem filtragem	Alt. Elip. - Com filtragem
12	Tendência	1,67 m	1,45 m
	Hipótese nula aceita?	Não	Não
	Nº de Observações	45146	44245
	$\sigma_i$	15,92 m	13,22 m
	$\sigma_x$	0,07 m	0,06 m
	Acurácia	1,67 m	1,45 m
4	Tendência	-0,14 m	-0,28 m
	Hipótese nula aceita?	Sim	Não
	Nº de Observações	14408	14275
	$\sigma_i$	12,26 m	11,68 m
	$\sigma_x$	0,10 m	0,10 m
	Acurácia	0,17 m	0,30 m

TABELA 28 – ACURÁCIA DA ALTITUDE ELIPSOIDAL OBTIDA A PARTIR DO IBGE-PPP REFERENTE A 12 HORAS DE COLETA DE DADOS EM MODO CINEMÁTICO

(conclusão)

Horas	Equação	Alt. Elip. - Sem filtragem	Alt. Elip. - Com filtragem
2	Tendência	-0,55 m	-0,58 m
	Hipótese nula aceita?	Não	Não
	Nº de Observações	7200	7119
	$\sigma_i$	12,50 m	11,83 m
	$\sigma_x$	0,15 m	0,14 m
	Acurácia	0,57 m	0,59 m

FONTE: O autor (2019).

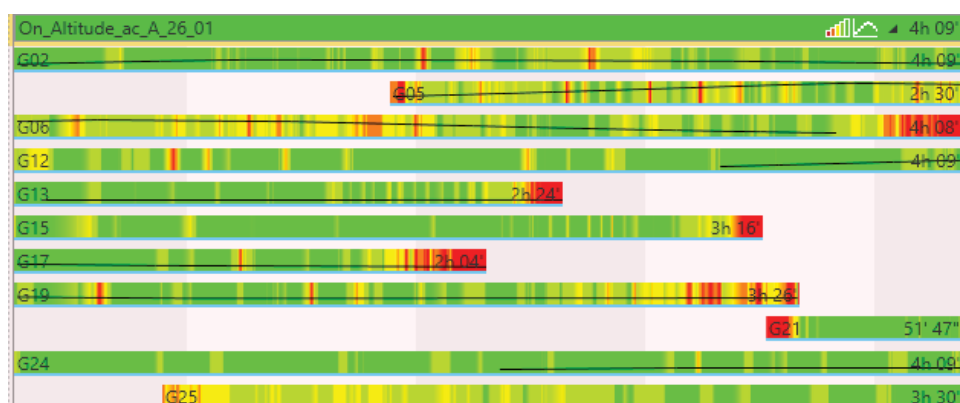
LEGENDA: Alt. Elip.: Altitude Elipsoidal.

#### 4.4.2 Resultados obtidos a partir do método de posicionamento relativo cinemático – Cenário 2

Conforme mencionado na Seção 4.4.1, os arquivos RINEX coletados através do aplicativo *Geo++* não resultaram em soluções quando pós-processados pelo IBGE-PPP. Dessa forma, todas as seis campanhas foram pós-processadas no *software* Infinity conforme os critérios estabelecidos na Seção 3.6.3.

Na FIGURA 34 verifica-se que os dados provenientes do aplicativo *rinex On*, apresentam ruídos embora as interrupções não estejam claramente visíveis na FIGURA 35.

FIGURA 34 – RUÍDOS NOS SINAIS RASTREADOS PELO APLICATIVO RINEX ON



FONTE: O autor (2019).

Aparentemente, não há interrupções nos sinais rastreados pelo aplicativo *rinex On*, contudo, estas interrupções são visíveis para os dados provenientes do aplicativo *Geo++*, conforme apresentado na FIGURA 35.

FIGURA 35 - INTERRUPTÕES NOS SINAIS RASTREADOS A PARTIR DOS APLICATIVOS GEO ++ E RINEX ON



FONTE: O autor (2019).

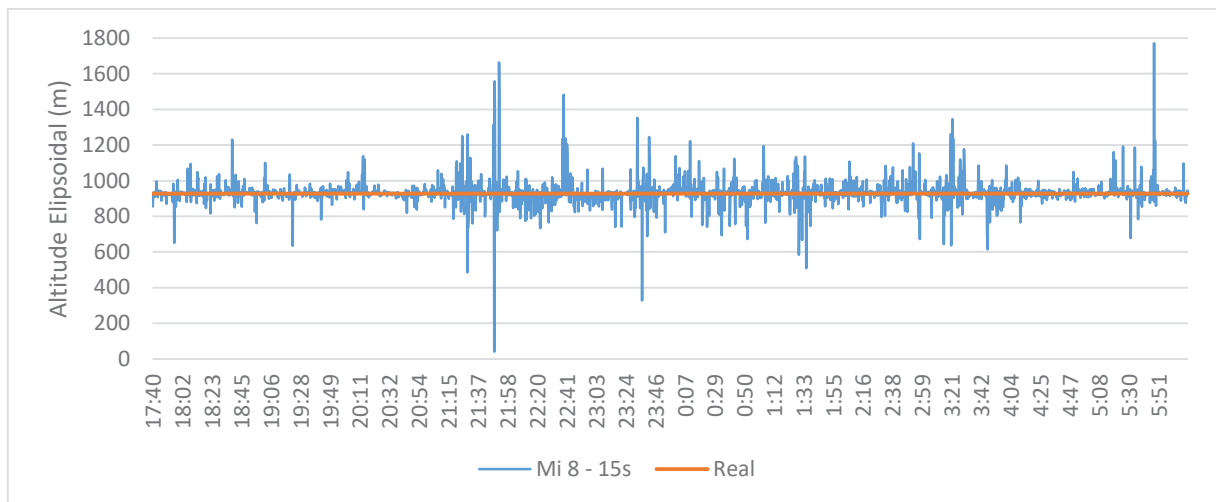
Os resultados obtidos pelos aplicativos foram similares, isto é, não foi possível detectar as variações provocadas na altura da antena. Além disso, o tempo de duração de coleta de dados utilizando o aplicativo Geo++ foi inferior a 4 horas nas campanhas 4 e 6 devido ao superaquecimento do aparelho.

Diferentemente dos processamentos em modo estático, as soluções geradas a partir dos dados RINEX provenientes do aplicativo Geo++ geraram resíduos da dupla diferença de fase.

#### 4.4.2.1 Resultados obtidos mediante diferentes intervalos de gravação de dados

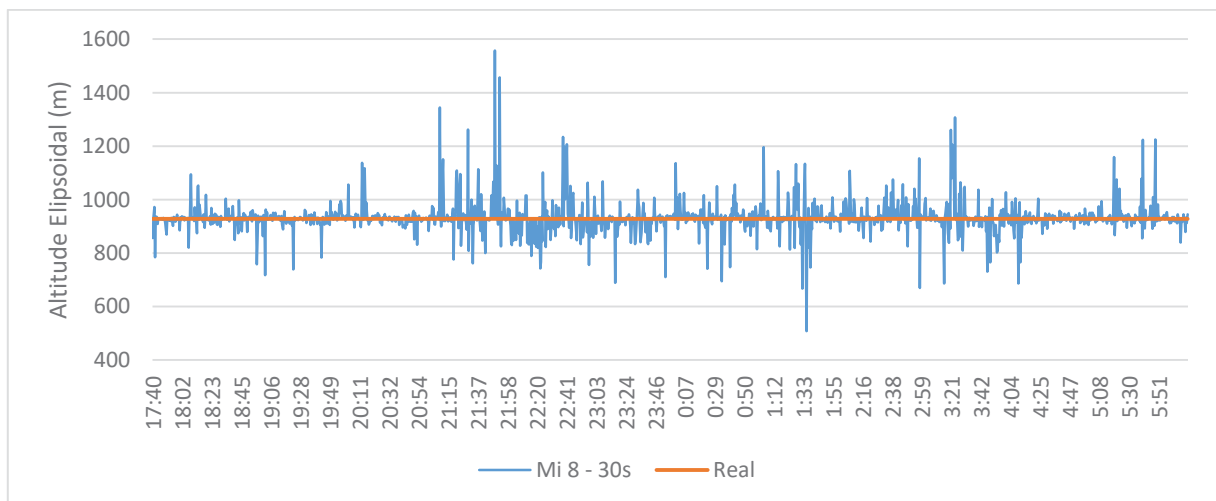
Com o intuito de verificar o comportamento das soluções geradas em modo estático mas processadas em modo cinemático, foi realizado o pós-processamento dos dados referente à campanha com duração de 12 horas sobre o Pilar (Seção 3.6.3). As altitudes elipsoidais medidas foram geradas com intervalos de gravação de dados iguais a 15, 30 e 60 segundos conforme apresentado, respectivamente, nos gráficos 23, 24 e 25.

GRÁFICO 23 - ALTITUDES ELIPSOIDAIS OBTIDAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE DADOS IGUAL A 15 SEGUNDOS



FONTE: O autor (2019).

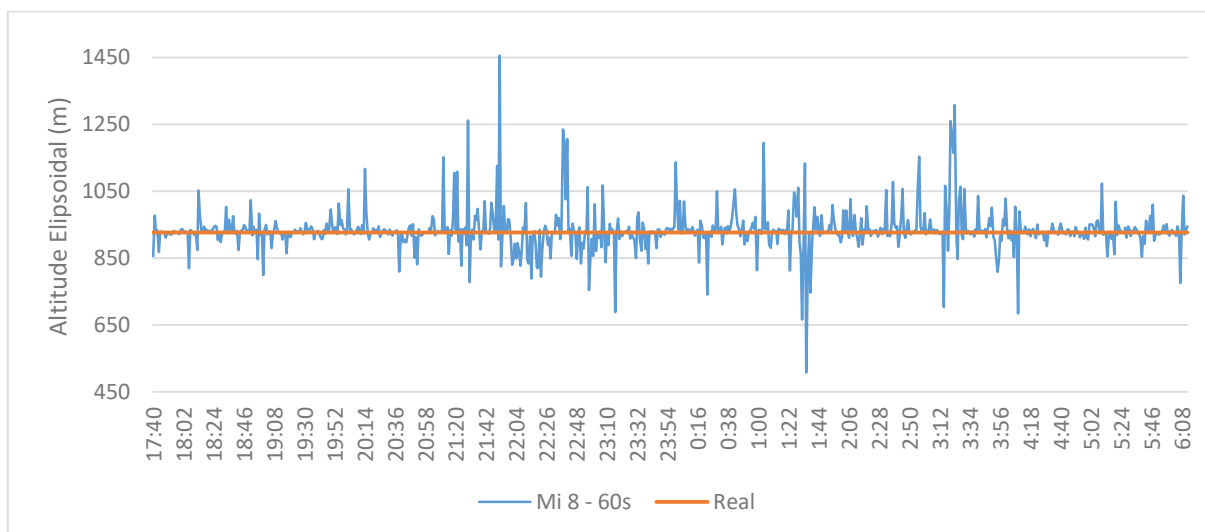
GRÁFICO 24 - ALTITUDES ELIPSOIDAS OBTIDAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE DADOS IGUAL A 30 SEGUNDOS



FONTE: O autor (2019).



GRÁFICO 25 - ALTITUDES ELIPSÓIDAS OBTIDAS COM INTERVALO DE GRAVAÇÃO DE DADOS IGUAL A 60 SEGUNDOS



FONTE: O autor (2019).

A partir das informações contidas na TABELA 29 pode-se observar que ambos os processamentos resultaram em altitudes elipsoidais com acurácia da ordem de metros e com tendências significativas para o nível de probabilidade adotado. Além disso, os intervalos de gravação de dados não resultaram em diferenças expressivas no que tange aos desvios padrão das soluções isoladas para a altitude elipsoidal.

TABELA 29 – ACURÁCIA OBTIDA PELO MI 8 EM MODO CINEMÁTICO FRENTE A DIFERENTES INTERVALOS DE GRAVAÇÃO DE DADOS

I.G.D	Equação	Norte (m)	Este (m)	Altitude Elipsoidal (m)
15s	Tendência	-1,87	-0,04	-4,17
	Hipótese nula aceita?	Não	Sim	Não
	Nº de Observações	3010	3010	3010
	$\sigma_i$	28,35	31,55	63,50
	$\sigma_x$	0,52	0,57	1,16
	Acurácia	1,94	0,58	4,33
30s	Tendência	-1,16	-0,36	-4,51
	Hipótese nula aceita?	Não	Sim	Sim
	Nº de Observações	1505	1505	1505
	$\sigma_i$	23,17	24,79	60,13
	$\sigma_x$	0,60	0,64	1,55
	Acurácia	1,31	0,73	4,76
60s	Tendência	-1,79	-1,70	-6,30
	Hipótese nula aceita?	Não	Sim	Não
	Nº de Observações	753	753	753
	$\sigma_i$	18,77	25,08	63,75
	$\sigma_x$	0,68	0,91	2,32
	Acurácia	1,92	1,93	6,71

FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: I.G.D: Intervalo de Gravação de Dados

#### 4.5 RESULTADOS OBTIDOS NO CENÁRIO 3

Os resultados obtidos mediante o pós-processamento dos dados coletados no Cenário 3 apontam que a maioria das soluções geraram trajetórias coerentes com a trajetória definida como referência. Ainda, constatou-se que alguns arquivos RINEX não foram gerados corretamente.

Vale ressaltar que as campanhas foram realizadas com o Mi 8 coletando dados em um ponto qualquer na pista durante cerca de 10 minutos, representando um tempo de inicialização antes do caminharmento.

A TABELA 30 traz um panorama geral acerca dos processamentos realizados.

TABELA 30 - CARACTERÍSTICAS REFERENTE ÀS COLETAS DE DADOS REALIZADAS NO CENÁRIO 3

Data	C.G	S.C	Sigla	Aplicativo	AGNSS	CAG	Situação
18/01/19	C	1	C1	On e GnssLogger	Não	Sim	OK
18/01/19	C	2	C2	Geo++ e GnssLogger	Não	Sim	OK
18/01/19	C	4	C4	On e GnssLogger	Não	Não	OK
18/01/19	C	5	C5	Geo++ e GnssLogger	Não	Não	OK
18/01/19	C	7	C7	On e GnssLogger	Sim	Sim	Erro nos dados
18/01/19	C	8	C8	Geo++ e GnssLogger	Sim	Sim	OK
19/01/19	D	1	D1	On e GnssLogger	Não	Sim	Erro nos dados
19/01/19	D	2	D2	Geo++ e GnssLogger	Não	Sim	OK
19/01/19	D	4	D4	On e GnssLogger	Não	Não	S/solução
19/01/19	D	5	D5	Geo++ e GnssLogger	Não	Não	OK
19/01/19	D	7	D7	On e GnssLogger	Sim	Sim	OK
19/01/19	D	8	D8	Geo++ e GnssLogger	Sim	Sim	OK
20/01/19	E*	1	E1	On e GnssLogger	Não	Sim	S/solução
20/01/19	E*	2	E2	Geo++ e GnssLogger	Não	Sim	Ok
20/01/19	E*	4	E4	On e GnssLogger	Não	Não	Ok
20/01/19	E*	5	E5	Geo++ e GnssLogger	Não	Não	Ok
20/01/19	E*	7	E7	On e GnssLogger	Sim	Sim	S/solução
20/01/19	E*	8	E8	Geo++ e GnssLogger	Sim	Sim	Ok

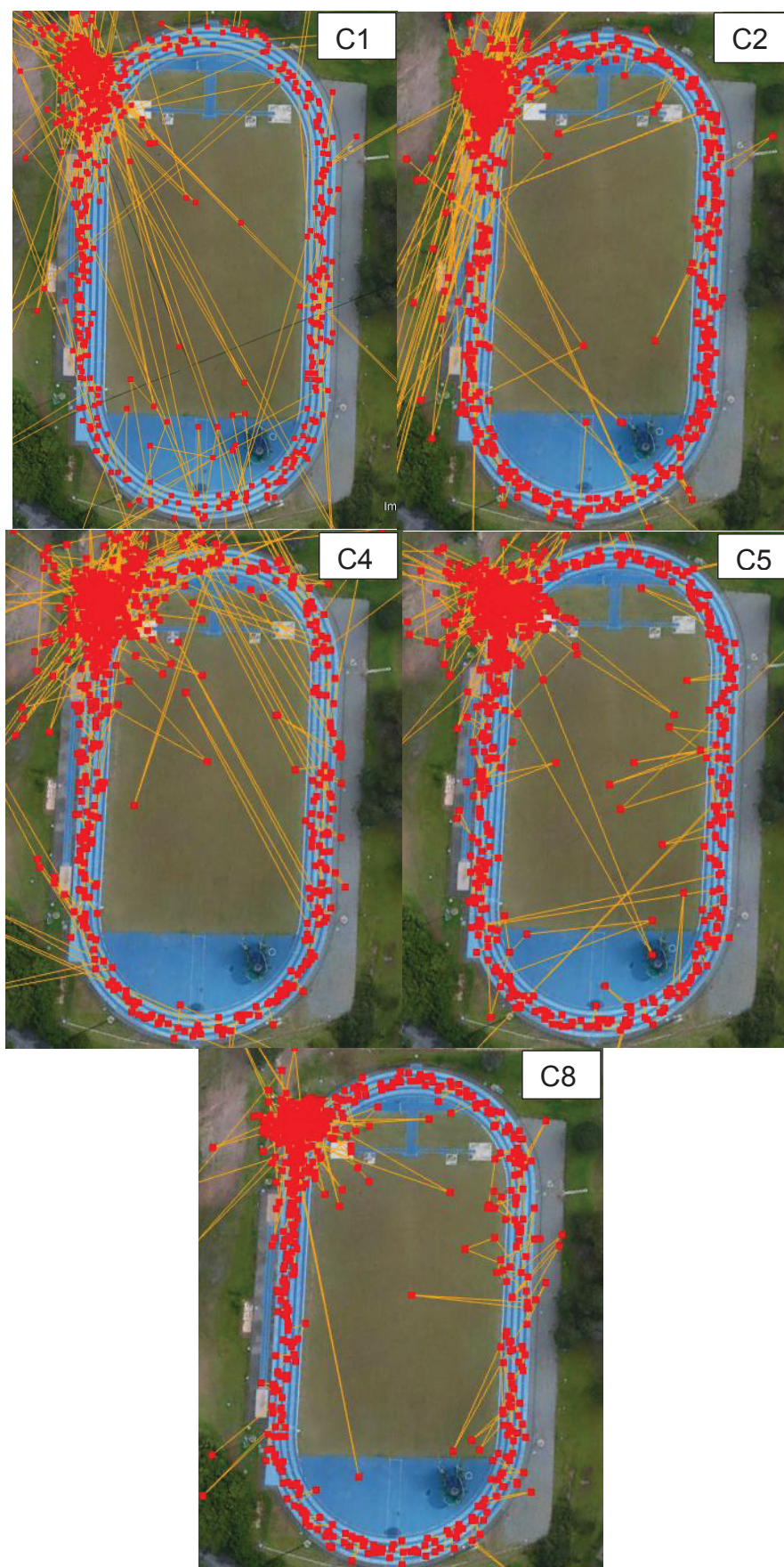
FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: C.G.: Campanha Geral; S.C.: Sub campanha

NOTA: \* Campanha realizada apenas com o Mi 8.

Após os processamentos dos dados (TABELA 30) percebe-se que os caminharmentos efetuados pelo Mi 8 foram semelhantes a trajetória percorrida sobre a pista, apesar de haverem soluções espúrias (FIGURA 36, 37 e 38).

FIGURA 36 - TRAJETÓRIAS OBTIDAS A PARTIR DA CAMPANHA GERAL C



FONTE: O autor (2019).



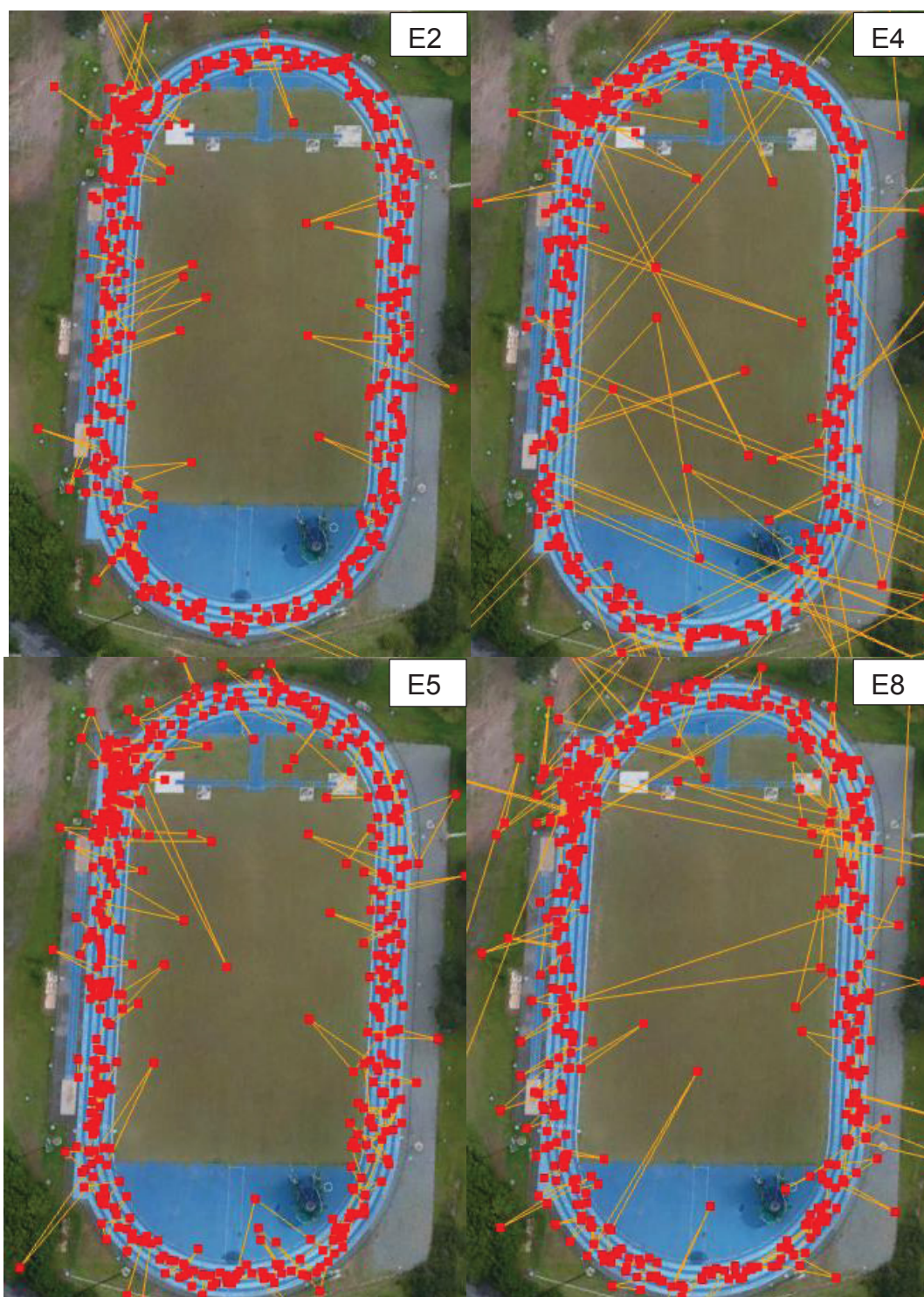
FIGURA 37 - TRAJETÓRIAS OBTIDAS A PARTIR DA CAMPANHA GERAL D



FONTE: O autor (2019).



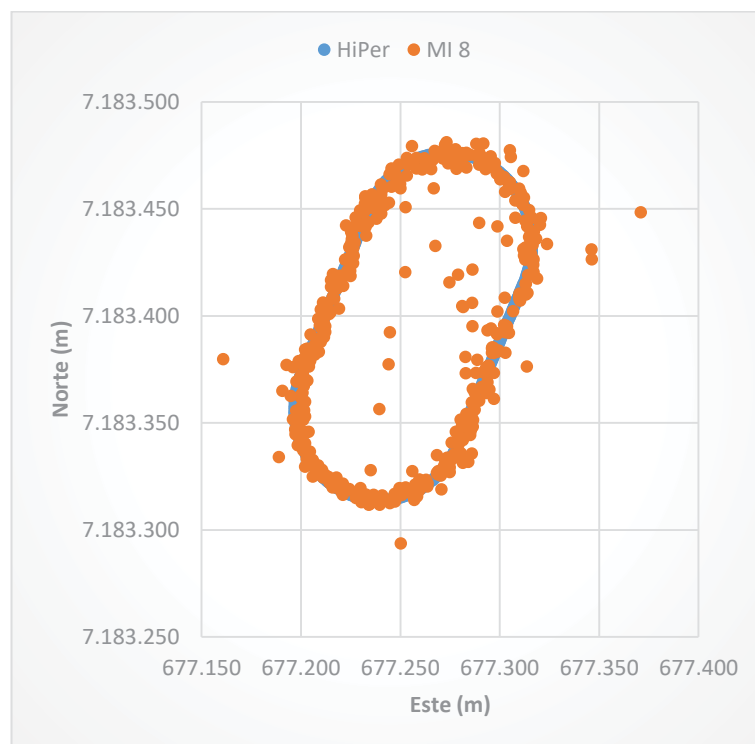
FIGURA 38 - TRAJETÓRIAS OBTIDAS A PARTIR DA CAMPANHA GERAL E



FONTE: O autor (2019).

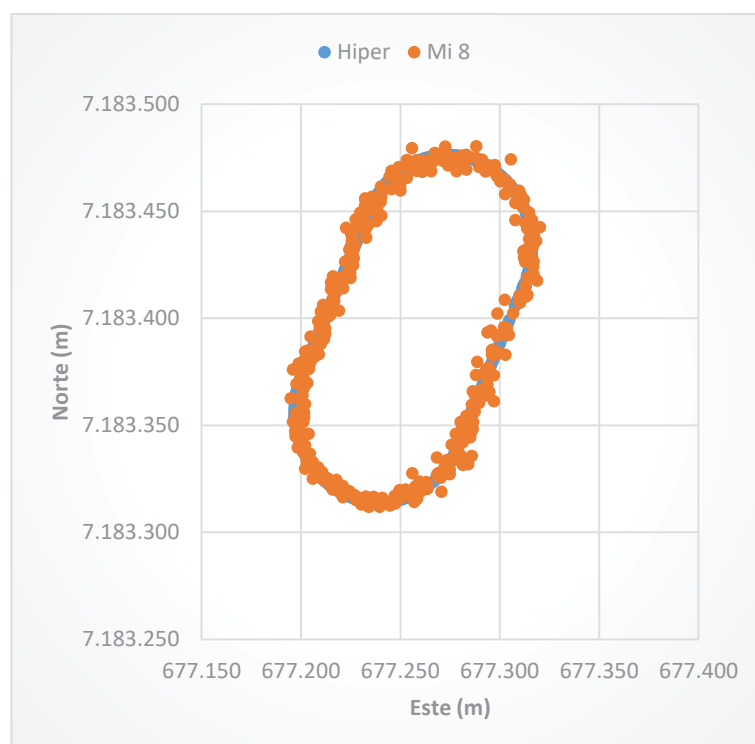
O GRÁFICO 26 ilustra a distribuição das coordenadas Norte e Este referente a Campanha D2. Pode-se observar que há coordenadas com erros grosseiros, as quais são discrepantes da trajetória descrita. Dessa forma, foi efetuada a filtragem dos dados a partir da regra dos três sigmas (GRÁFICO 27).

GRÁFICO 26 – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS NORTE E ESTE REFERENTE A CAMPANHA D2



FONTE: O autor (2019).

GRÁFICO 27 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS NORTE E ESTE REFERENTE A CAMPANHA D2 – REGRA DOS TRÊS SIGMAS



FONTE: O autor (2019).

Analisando os gráficos 26 e 27 pode-se observar que as coordenadas Norte e Este se aproximam da trajetória verdadeira e que as coordenadas com erros grosseiros foram eliminadas (GRÁFICO 27). Nesse gráfico visualiza-se mais claramente a trajetória de referência obtida com a solução proveniente dos dados processados e adquiridos pelo receptor HiPer.

A TABELA 31 apresenta a acurácia referente a campanha D2, com e sem a filtragem dos dados. As discrepâncias foram calculadas entre as coordenadas que compõem a trajetória D2 (Mi 8) e a trajetória de referência (HiPer). Contudo, vale destacar que a distância entre a posição estimada do sensor Mi 8 e o HiPer (12 cm) não foi contemplada nos cálculos.

TABELA 31 – ACURÁCIA OBTIDA REFERENTE A CAMPANHA D2 - COM E SEM A REGRA DOS TRÊS SIGMAS

Filtragem	Equação	Norte	Este	Altitude Elipsoidal
Não	Tendência	1,28 m	-0,58 m	-3,89 m
	Hipótese nula aceita?	Não	Não	Não
	Nº de Observações	440	440	440
	$\sigma_i$	9,95 m	5,45 m	19,47 m
	$\sigma_x$	0,47 m	0,26 m	0,93 m
	<b>Acurácia</b>	1,36 m	0,63 m	4,00 m
Sim	Tendência	0,06 m	0,02 m	-0,41 m
	Hipótese nula aceita?	Sim	Sim	Sim
	Nº de Observações	397	397	397
	$\sigma_i$	2,35 m	2,65 m	6,59 m
	$\sigma_x$	0,12 m	0,13 m	0,33 m
	<b>Acurácia</b>	0,13 m	0,13 m	0,53 m

FONTE: O autor (2019).

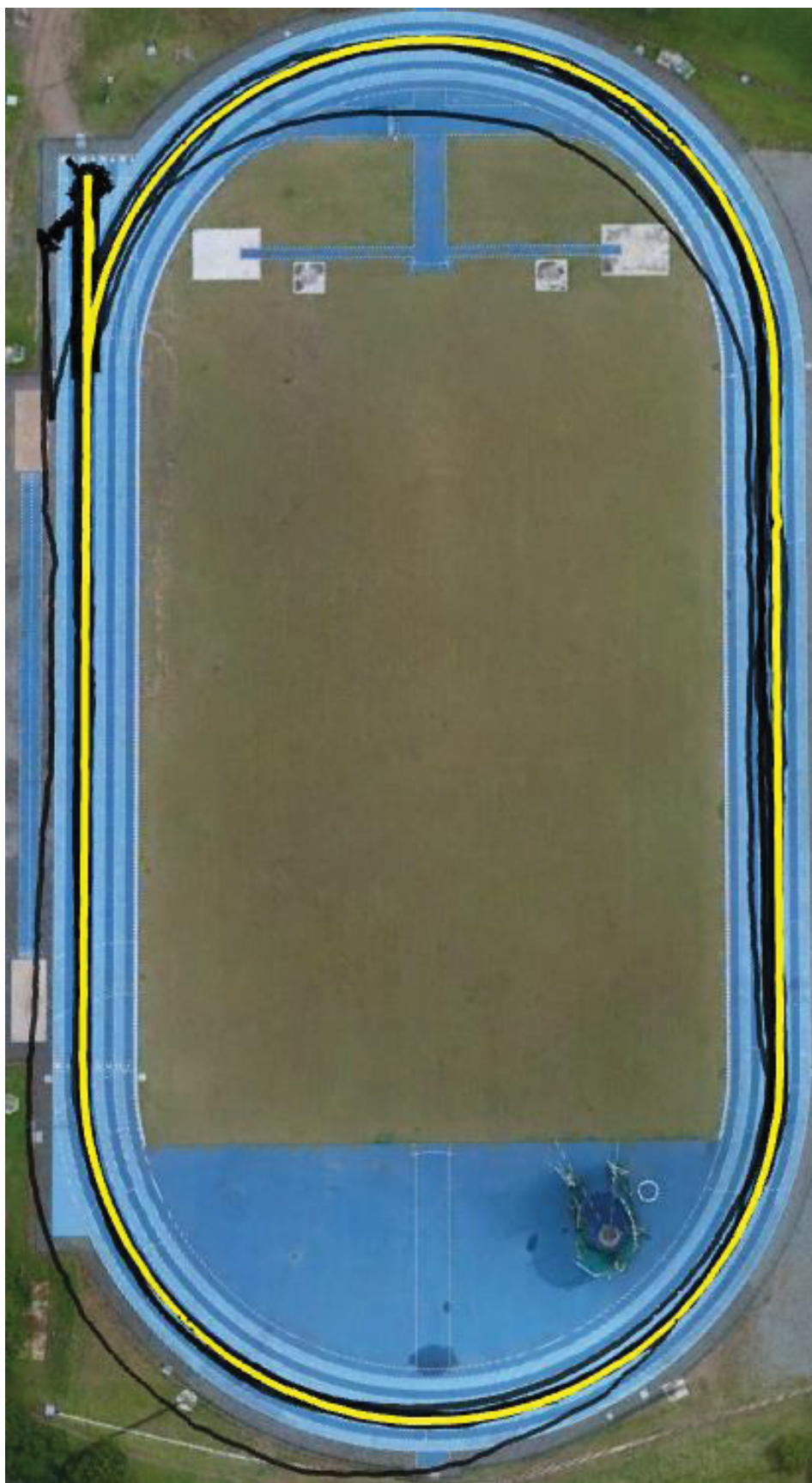
De acordo com a TABELA 31 observa-se que a acurácia posicional das coordenadas teve um ganho significativo (de metros para decímetros) mediante o emprego da regra dos três sigmas.

#### 4.5.1 Trajetória Descrita pelo aplicativo *GPS Logger Pro*

Além dos aplicativos que geram arquivos RINEX foi utilizado o aplicativo *GPS Logger Pro*, o qual gera soluções no próprio *smartphone*. A FIGURA 39 apresenta as trajetórias percorridas pelo Mi 8 ao empregar este aplicativo durante as nove campanhas realizadas (Seção 3.5.4).



FIGURA 39 – TODAS AS 9 CAMPANHAS REALIZADAS COM O APLICATIVO GPS LOGGER PRO SOBRE A PISTA DE ATLETISMO DA UFPR

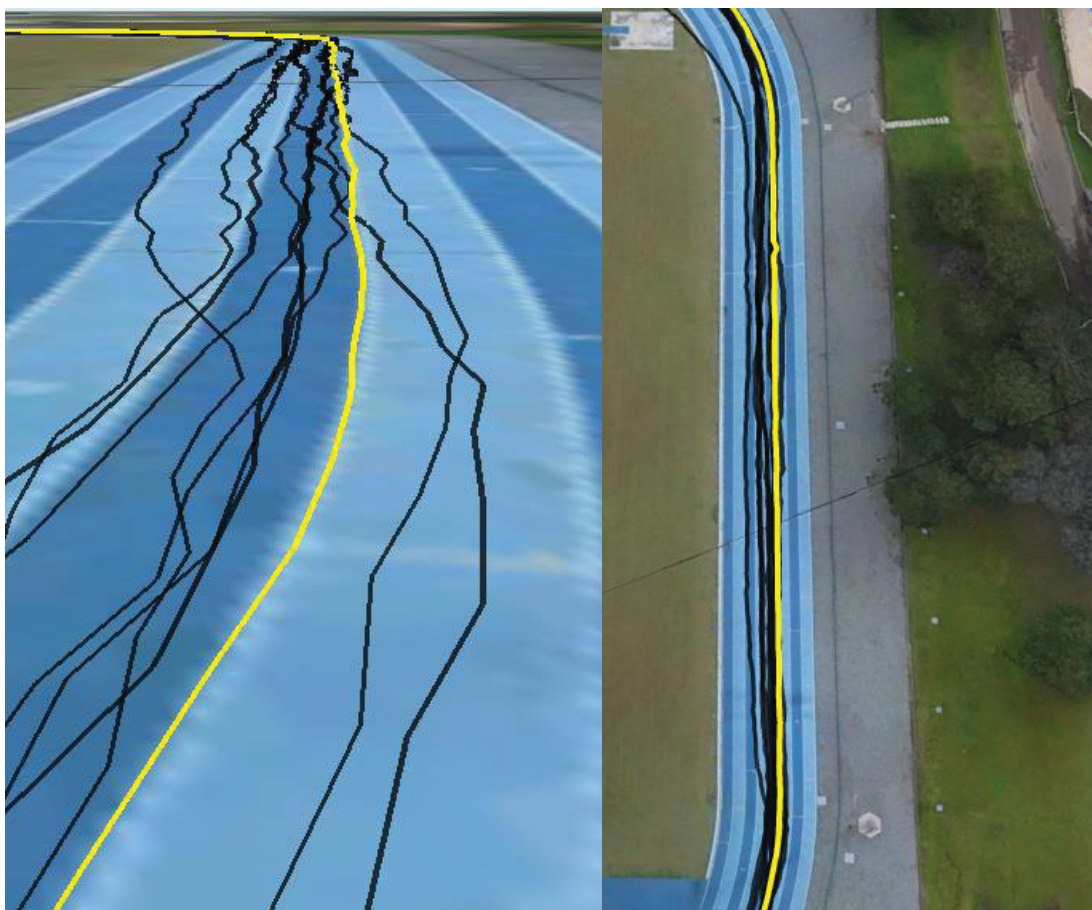


FONTE: O autor (2019).

De acordo com a FIGURA 39 verifica-se que as trajetórias obtidas se aproximam da trajetória verdadeira (linha amarela), com exceção de uma campanha que apresentou um deslocamento (translação).

Ao observar as características ao redor da pista, nota-se que há a presença de obstruções parciais em determinados trechos (região a direita da FIGURA 40), estas obstruções podem ter contribuído com o deslocamento da trajetória (região a esquerda da FIGURA 40). Como a raia de corrida possui uma largura de aproximadamente 1,35 m, verifica-se que as trajetórias percorridas distam de valores superiores a este da trajetória tomada como referência.

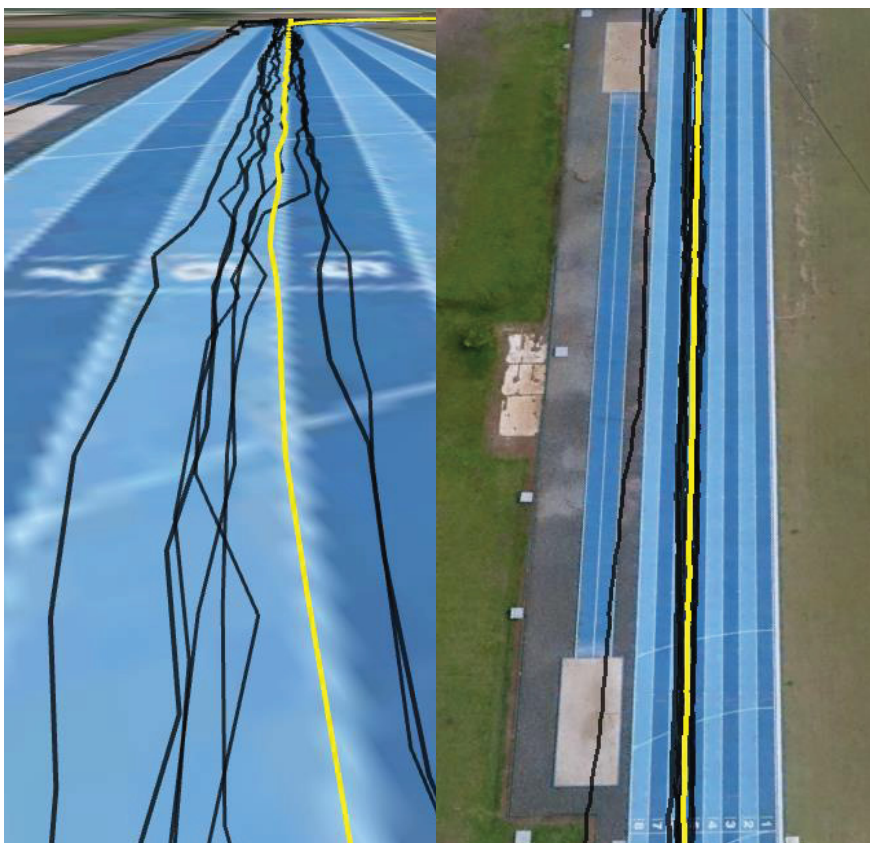
FIGURA 40 - TRAJETÓRIA COM OBSTRUÇÕES PARCIAIS NAS IMEDIAÇÕES



FONTE: O autor (2019).

A área 2 em detalhe na FIGURA 41, não apresenta obstruções significativas no entorno, o que corrobora com menores distâncias entre as trajetórias percorridas e a de referência.

FIGURA 41 - TRAJETÓRIA EM AMBIENTE LIVRE DE OBSTRUÇÕES



FONTE: O autor (2019).

De forma geral, as soluções provenientes do aplicativo *GPS Logger Pro*, resultaram em trajetórias mais próximas às de referência. Contudo, vale ressaltar que a solução dada pelo aplicativo é realizada internamente no *smartphone*, impossibilitando o pós-processamento dos dados e eventuais análises referente a influência do multicaminho.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o pós-processamento dos dados RINEX, gerados por aplicativos compatíveis com o Android Nougat e sucessores foi possível obter coordenadas geodésicas, em modo estático, com acurácia da ordem decimétrica utilizando um *smartphone*.

As coordenadas geodésicas obtidas pelo método PPP a partir do serviço online IBGE-PPP, de modo geral, apresentaram soluções mais acuradas que as obtidas pelo método de posicionamento relativo, proporcionadas pelo software Infinity.

No que se refere ao tempo de duração das campanhas (modo estático) verificou-se que aquelas com uma duração de tempo maior (ex.: 4 horas) apresentaram coordenadas com melhores qualidades.

Ao empregar as constelações GPS, GLONASS e Galileo, observou-se que não houve ganhos na acurácia referente a combinação GPS e GLONASS, contudo há uma melhora significativa na altitude elipsoidal, quando comparada com aquela obtida pelo processamento empregando apenas a constelação GPS. Com a constelação de satélites do Galileo operacional e completa este ganho deverá ser mais significativo.

Os processamentos realizados pelo método PPP em modo estático a partir do *software* RTKLIB e pelo serviço IBGE-PPP, apresentaram resultados similares. Contudo, o PPP pelo *software* RTKLIB possibilita uma análise mais aprofundada e eventual filtragem nos dados mediante a exclusão de satélites por parte do usuário, exigindo um conhecimento maior para o processamento. Por sua vez, o PPP-IBGE fornece ao usuário as coordenadas geodésicas acuradas e referenciadas ao sistema de referência SIRGAS2000, porém não possibilita ainda o emprego de frequências modernas e de informações provenientes dos satélites das constelações Galileo e BeiDou.

Verificou-se que o emprego das efemérides finais e rápidas não contribuíram com diferenças significativas nas soluções geradas pelos processamentos.

De acordo com os resultados obtidos mediante o pós-processamento realizado pelo *software* Infinity (método de posicionamento relativo), verificou-se a presença excessiva de saltos de ciclos gerados nas soluções degradando a qualidade do posicionamento (soluções flutuantes). Acredita-se que tal fato ocorre em face de que os *smartphones* são sensíveis na recepção dos sinais. Neste contexto,



aparentemente, verificou-se que o aplicativo *rinex On* coletou sinais com um número menor de interferências.

Os arquivos RINEX gerados pelo aplicativo *Geo ++* e que foram pós-processamentos em modo relativo cinemático apresentaram resíduos na fase das ondas portadoras, o que não ocorreu em modo relativo estático (Cenário 1).

Diante dos resultados obtidos em modo cinemático, conclui-se que a sensibilidade do sensor dificulta a aquisição de dados com acurácia decimétrica. No entanto, mediante uma filtragem nos dados, os erros grosseiros podem ser eliminados.

Em virtude dos ruídos presentes nas altitudes elipsoidais não foi possível detectar as variações provocadas na altura do *smartphone*, mesmo após a filtragem de dados espúrios.

No Cenário 3 as melhores trajetórias obtidas pelo Mi 8 foram geradas internamente pelo aplicativo *GPS Logger Pro*, no entanto, a partir dos dados RINEX também pode-se obter trajetórias similares percorridas em campo.

Nesta pesquisa foram realizadas diversas coletas de dados sobre diferentes ambientes. O superaquecimento do *smartphone* se tornou um fator preocupante, uma vez que pode comprometer os componentes internos do mesmo e, eventualmente, degradar a informação fornecida ao usuário.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a possibilidade de adquirir informações brutas, mesmo que em formato RINEX, captados pelos sensores GNSS presente em *smartphones*, novas áreas de pesquisa podem ser desenvolvidas, tais como estudos direcionados ao efeito do multicaminho, contribuições na modelagem da atmosfera, dentre outros.

Em face dos resultados obtidos no Cenário 2 verificou-se a impossibilidade de detectar as variações provocadas na altura do *smartphone*. Desta forma, recomenda-se realizar estudos quanto a decomposição dos sinais buscando detectar a presença de efeitos externos. Ainda, variações na altura da antena superiores a 1,5 m podem ser testadas.

Outras pesquisas devem ser direcionadas quanto aos sinais e as constelações observadas pelo Mi 8.

Sugere-se o desenvolvimento de um aplicativo que possibilite integrar os dados dos sensores GNSS e inercial.

Efetuar investigações quanto a sensibilidade do sensor GNSS frente às interferências de sinais externos.

## REFERÊNCIAS

- ACHANTA, S.; WATT, S. T.; SAGEN, E. **Mitigating GPS Vulnerabilities**. POWER AND ENERGY AUTOMATION CONFERENCE, 2015, Spokane. Anais... Disponível em: <[https://cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/TechnicalPapers/6644\\_MitigatingGPS\\_SA\\_20140205\\_Web.pdf](https://cdn.selinc.com/assets/Literature/Publications/TechnicalPapers/6644_MitigatingGPS_SA_20140205_Web.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2019.
- AKOS, D. M. Who's Afraid of the Spoofer? GPS/GNSS Spoofing Detection via Automatic Gain Control (AGC). **Navigation: Journal of The Institute of Navigation**, v. 59, n. 4, p. 281–290, 2012.
- BANVILLE, S.; DIGGELEN, F. VAN. Innovation: Precise positioning using raw GPS measurements from Android smartphones: **GPS World**. Disponível em: <<https://www.gpsworld.com/innovation-precise-positioning-using-raw-gps-measurements-from-android-smartphones/>>. Acesso em: 6 dez. 2018.
- BRIMICOMBE, A.; LI, Y. Mobile Space-Time Envelopes for Location-Based Services. **Transactions in GIS**, v. 10, n. 1, p. 5–23, 2006. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-9671.2006.00241.x>>. Acesso em: 17 jun. 2019.
- BROADCOM. **Dual Frequency performance in mass market**. Disponível em: <[https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/expo/miguel\\_torreja\\_broadcom.pdf](https://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/expo/miguel_torreja_broadcom.pdf)>. Acesso em: 09 jan. 2019.
- CABINET OFFICE (JAPAN). Overview of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS). Disponível em: <[http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01\\_what.html](http://qzss.go.jp/en/overview/services/sv01_what.html)>. Acesso em: 17 jun. 2019.
- CECCATO, S.; FORMAGGIO, F.; CAPARRA, G.; LAURENTI, N.; TOMASIN, S. **Exploiting side-information for resilient GNSS positioning in mobile phones**. IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS). 2018, Monterey. Anais... Monterey, 2018. p.1515–1524. IEEE.
- CURRAN, T. J.; BAVARO, M.; CLOSAS, P.; NAVARRO MONICA. A look at the Threat of Systematic Jamming of GNSS. **InsideGNSS**, p. 46–53, set./out. 2017. Disponível em: <[www.insidegnss.com](http://www.insidegnss.com)>. Acesso em: 21 jun. 2019.
- DABOVE, P.; PIETRA, V. DI; LINGUA, A. M. Positioning Techniques with Smartphone Technology: Performances and Methodologies in Outdoor and Indoor Scenarios. **Smartphones from an Applied Research Perspective**, 2017. InTech.
- DIGGELEN, F. VAN. **A-GPS: assisted GPS, GNSS, and SBAS**. London: Artech House, 2009.
- DIGGELEN, F. VAN. The Smartphone Revolution - Seven technologies that put GPS in mobile phones around the world: the how and why of location's entry into modern consumer mobile communications. **GPS World**, dez. 2009. Disponível em: <<https://www.gpsworld.com/wireless-smartphone-revolution-9183/>>. Acesso em: 29 mar. 2019.



DIGGELEN, F. VAN; KHIDER, M. GNSS Analysis Tools from Google. **Inside GNSS**, abr. 2018. Disponível em: <<http://insidegnss.com/gnss-analysis-tools-from-google/>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

DIMARZIO, J. F. **Beginning Android® Programming with Android Studio**. 4. ed. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2017.

GARNÉS, S. J. DOS A. **AstGeoTop: Transformações de Sistemas Geodésicos**. Recife. 2019.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao Ajustamento de Observações**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2015.

GEO++. Logging of GNSS Raw Data On Android Geo++. Disponível em: <<http://www.geopp.de/logging-of-gnss-raw-data-on-android/>>. Acesso em: 1 out. 2018.

GOGOI, N.; MINETTO, A.; LINTY, N.; DOVIS, F. A Controlled-Environment Quality Assessment of Android GNSS Raw Measurements. **Electronics**, v. 8, n. 1, p. 5, 2018. MDPI AG.

GSA. **GNSS Market Report, Issue 5**. 2017a. Relatório Técnico.

GSA. **Using GNSS Raw Measurements on Android Devices**. 2017b. Relatório Técnico.

GSA. **Report on Location-Based Services User Needs and Requirements Outcome of the European GNSS' User Consultation Platform**. 2018a. Relatório Técnico.

GSA. **Galileo Technology Report, Issue 3**. 2018b. Relatório Técnico.

HEUBERGER, A.; ELST, G.; HANKE, R. **Microelectronic Systems: Circuits, Systems and Applications**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011.

HUMPHREYS, T. E.; MURRIAN, M.; VAN DIGGELEN, F.; PODSHIVALOV, S.; PESYNA, K. M. **On the feasibility of cm-accurate positioning via a smartphone's antenna and GNSS chip**. Proceedings of the IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS). 2016, Savannah. Anais... Savannah, 2016. p.232–242. IEEE.

IBGE. **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP**. Rio de Janeiro, 2017. Relatório Técnico.

IDC. **Smartphone Market Share - OS Data Overview**. Disponível em: <<https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/os>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

ISRO. IRNSS Programme - Indian Space Research Organization (ISRO). Disponível em: <<https://www.isro.gov.in/irnss-programme>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do gps no âmbito marinho**, 1996. 288 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

LAURICHESSE, D.; BANVILLE, S. Innovation: Instantaneous centimeter-level multi-frequency precise point positioning. **GPS World**, jul. 2018.

LEICK, A.; RAPOPORT, L.; TATARNIKOV, D. **GPS SATELLITE SURVEYING**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

MALKOS, S. Google to Provide Raw GNSS Measurements: User Location Takes Center Stage in New Android OS. **GPS World**, jul. 2016. Disponível em: <<https://www.gpsworld.com/google-to-provide-raw-gnss-measurements/>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

MIRALLES, D.; LEVIGNE, N.; AKOS, D. M.; BLANCH, J.; LO, S. **Android Raw GNSS Measurements as the New Anti-Spoofing and Anti-Jamming Solution**. Proceedings of the 31st International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018). 2018, Miami. Anais... Miami, 2018. p.334–344.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS Descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. Presidente Prudente: Unesp, 2008.

MONICO, J. F. G.; DAL PÓZ, A. P.; GALO, M.; DOS SANTOS, M. C.; DE OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, p. 469–483, jul./set., 2009.

NOVATEL. Understanding the Difference Between Anti-Spoofing and Anti-Jamming. Disponível em: <<https://www.novatel.com/tech-talk/velocity/velocity-2013/understanding-the-difference-between-anti-spoofing-and-anti-jamming/>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

NSL. NSL launches a new free Android app as part of FLAMINGO – Discover rinexON. Disponível em: <<https://www.flamingognss.com/rinexon>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

O'CONNOR, A. C.; GALLAHER, M. P.; CLARK-SUTTON, K.; et al. **Economic Benefits of the Global Positioning System (GPS)**. Gaithersburg, 2019. Relatório Técnico.

Android Developers. Disponível em: <<https://developer.android.com/about/dashboards/index.html>>. Acesso em: 4 jun. 2019.

PESYNA, K. M.; HEATH, R. W.; HUMPHREYS, T. E. **Centimeter Positioning with a Smartphone-Quality GNSS Antenna**. ION GNSS Conference, 2014, Tampa. Anais... Tampa, 2014. p.10. Tampa. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/d439/e85aab7bce7e9361fe3ad68c55c28c0e8c5a.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

REALINI, E.; CALDERA, S.; PERTUSINI, L.; SAMPIETRO, D. Precise GNSS Positioning Using Smart Devices. **Sensors (Basel)**, Switzerland, v. 17, n. 10, p. 14, 2017.

ROBUSTELLI, U.; BAIOCCHI, V.; PUGLIANO, G. Assessment of Dual Frequency GNSS Observations from a Xiaomi Mi 8 Android Smartphone and Positioning Performance Analysis. **Electronics**, v. 8, n. 1, p. 91, 2019.

SALEEM, T.; USMAN, M.; ELAHI, A.; GUL, N. Simulation and Performance Evaluations of the New GPS L5 and L1 Signals. **Wireless Communications and Mobile Computing**, p. 1–4, 2017. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2017/7492703/>>. Acesso em: 1 out. 2018. <https://doi.org/10.1155/2017/7492703>.

SAPUCCI, L. F.; MACHADO, L. A. T.; MONICO, J. F. G. **Modelagem Dinâmica do Atraso Zenital Troposférico para América do Sul empregando previsão numérica de tempo**.

STANSELL, T. A.; BETZ, J. W.; VAN DIGGELEN, F.; AERO-ASTRO, S.; KOGURE, S. **Proposed Evolution of the C/A Signal**. Proceedings of the 28th International Technical Meeting of the ION Satellite Division, ION GNSS+ 2015. 2015, Tampa. Anais... Tampa, 2015. p. 1807-1825.

SUBIRANA, J. S.; ZORNOZA, J. M. J.; PAJARES, M. H. **GNSS Data Processing, Vol. I: Fundamentals and Algorithms**. Netherlands: ESA Communications, 2013.

TOPCON. **HiPer SR**. 2012. Disponível em: <[https://www.topptopo.dk/files/pdfGPS-GNSS/HiPer\\_SR\\_Brochure\\_A\\_TEAM\\_EN\\_EU\\_Low.pdf](https://www.topptopo.dk/files/pdfGPS-GNSS/HiPer_SR_Brochure_A_TEAM_EN_EU_Low.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2018.

UFPR CampusMap. Disponível em: <<http://www.campusmap.ufpr.br/>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

USMAN, M.; ASGHAR, M. R.; ANSARI, I. S.; GRANELLI, F.; QARAQ, K. A. Technologies and Solutions for Location-Based Services in Smart Cities: Past, Present, and Future. **IEEE Access**, v. 6, p. 22240–22248, 2018. 10.1109/ACCESS.2018.2826041.

VISKI, A. R. **ANÁLISE DA ATENUAÇÃO DO EFEITO MULTICAMINHO NO POSICIONAMENTO GPS DE PLATAFORMAS LAGRANGEANAS E EULERIANAS EM MASSAS DE ÁGUA**, 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

WANG, L.; GROVES, P. D.; ZIEBART, M. K. Smartphone shadow matching for better cross-street GNSS positioning in urban environments. **Journal of Navigation**, v. 8, p. 411-433, 2015.

Xiaomi Mi 8 Teardown - MyFixGuide.com. Disponível em: <<https://www.myfixguide.com/xiaomi-mi-8-teardown/>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

## ANEXO 1 – EXTRATO DO ARQUIVO RINEX GERADO PELO APP GEO ++ A PARTIR DO SMARTPHONE MI 8

3.03	OBSERVATION DATA	M: Mixed	RINEX VERSION / TYPE
Geo++ RINEX Logger	Geo++	20181011 154317 UTC	PGM / RUN BY / DATE
*****COMMENT			
This file was generated by the Geo++ RINEX Logger App			COMMENT
for Android devices (Version 2.0.0). If you encounter			COMMENT
any issues, please send an email to android@geopp.de			COMMENT
*****COMMENT			
Geo++			MARKER NAME
GEODETIC			MARKER TYPE
RINEX Logger user	Geo++		OBSERVER / AGENCY
3a9c379e	Xiaomi	MI 8	REC # / TYPE / VERS
3a9c379e	MI 8		ANT # / TYPE
3763724.1697	-4365114.9916	-2724431.7752	APPROX POSITION XYZ
0.0000	0.0000	0.0000	ANTENNA: DELTA H/E/N
G 8 C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q			SYS / # / OBS TYPES
R 4 C1C L1C D1C S1C			SYS / # / OBS TYPES
E 12 C1B L1B D1B S1B C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q			SYS / # / OBS TYPES
C 4 C2I L2I D2I S2I			SYS / # / OBS TYPES
J 8 C1C L1C D1C S1C C5Q L5Q D5Q S5Q			SYS / # / OBS TYPES
2018 10 11 15 43 35.0003809		GPS	TIME OF FIRST OBS
24 R01 1 R02 -4 R03 5 R04 6 R05 1 R06 -4 R07 5 R08 6			GLONASS SLOT / FRQ #
R09 -2 R10 -7 R11 0 R12 -1 R13 -2 R14 -7 R15 0 R16 -1			GLONASS SLOT / FRQ #
R17 4 R18 -3 R19 3 R20 2 R21 4 R22 -3 R23 3 R24 2			GLONASS SLOT / FRQ #
G L1C			SYS / PHASE SHIFTS
G L5Q -0.25000			SYS / PHASE SHIFTS
R L1C			SYS / PHASE SHIFTS
E L1B			SYS / PHASE SHIFTS
E L1C +0.50000			SYS / PHASE SHIFTS
E L5Q -0.25000			SYS / PHASE SHIFTS
C L2I			SYS / PHASE SHIFTS
J L1C			SYS / PHASE SHIFTS
J L5Q -0.25000			SYS / PHASE SHIFTS
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000			GLONASS COD/PHS/BIS
			END OF HEADER
> 2018 10 11 15 43 35.0003809 0 27			
E02			25469425.284 62995.4331
E03			28412134.688 705101.7201
E07 25177798.273	-91640.0191	233.209	29.631 25177808.166 -70800.8400
E08			23339868.445 575806.5501
E27			26862467.301 -520313.0201
E30			22868227.456 -121064.7670
G01 25789781.106	-41904.9161	50.806	16.177 25789794.897 -54773.6161
G05 24801481.692	511684.0760	-1448.030	31.024
G06 24240105.924	-1043019.4780	3035.551	29.751 24240123.911 -1151375.1411
G07 25505475.327	673799.9750	-1958.350	27.725

FONTE: O autor (2019).